



حَتّى نِهَايَة الزمَن

العقل والمادة وبحثنا عن المعنى في كون متطور

ترْجمة
محمد فتحي خضر



برا
يان جرين

حتى نِهاية الزمن

العقل والمادة وبحثنا عن المعنى في كون متطور



الكتاب: حتى نهاية الزمن، العقل والمادة وبحثنا عن المعنى في كون منطوّر
تأليف: برايان جرين
ترجمة: محمد فتحي خضر
عدد الصفحات: 368 صفحة
الترقيم الدولي: 978-9938-941-52-4
رقم الناشر: 157- 343/ 21
الطبعة الأولى: 2021

هذه ترجمة مرخصة لكتاب
UNTIL THE END OF TIME
Mind, Matter, and Our Search for Meaning in an Evolving Universe
by Brian Greene

الناشر

دار التنوير للطباعة والنشر

تونس: 24، نهج سعيد أبو بكر - 1001 تونس
هاتف وفاكس: 0021670315690
بريد إلكتروني: tunis@dar-altanweer.com
مصر: القاهرة 2- شارع السرايا الكبرى (فؤاد سراج الدين سابقا) - جاردن سيتي
هاتف: 002022795557
بريد إلكتروني: cairo@dar-altanweer.com
لبنان: بيروت - بئر حسن - بناية فارس قاسم (سارة بنما) - الطابق السفلي
هاتف: 009611843340
بريد إلكتروني: darattanweer@gmail.com
موقع إلكتروني: www.daraltanweer.com

براين جرين

حتى نهاية الزمن

العقل والمادة وبحثنا عن المعنى في كون متطور

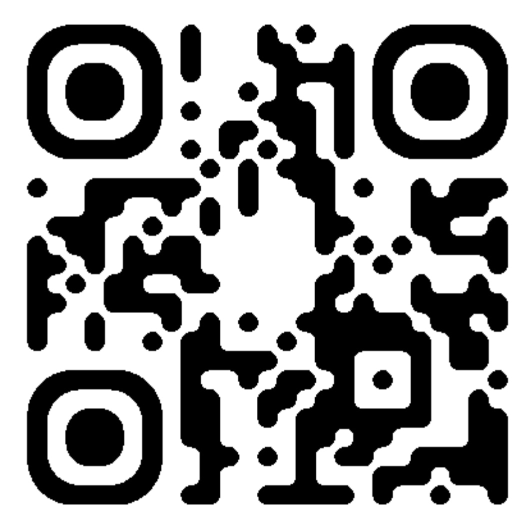
ترجمة
محمد فتحي خضر



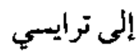
المحتويات

انضم لـ مكتبة .. امسح الكود

انقر هنا .. اتبع الرابط



telegram @soramnqraa



إلى ترايسي

تصدير

«أمارس الرياضيات لأنك بمجرَّد أن تُثبت أيَّ مبرهنة، فإنها تظل صامدة إلى الأبد»[1].

على الرغم من أن هذه العبارة بسيطة ومباشرة، فقد كانت مذهلة بالمثل. كنتُ في عامي الجامعي الثاني وذكرتُ لصديق أكبر مني سنًّا، كان قد علَّمني الكثيرَ من الرياضيات لسنوات، أنني أكتب ورقة عن التحفيز البشري من أجل مقرّر لعلم النفس كنت أَدْرُسه. وغيّر ردُّه نظرتي تغييرًا جذريًا. حتى ذلك الوقت لم أفكر في الرياضيات بصورة مشابهة ولو من بعيد. ففي نظري، كانت الرياضيات لعبة مدهشة تتسم بدقة مُجرَّدة يمارسها مجتمع خاص وغريب يسعَد بالمزحات التي تدور حول الجذر التربيعي أو القسمة على صفر. لكن بفضل تعليقه هذا اتضحت الصورة في ذهني. فكرت: نعم، *هذا* هو مكمن *رومانسية الرياضيات*. الإبداع المقيَّد بالمنطق ومجموعة من البديهيات الي تُملي الكيفية التي يمكن بها معالجة الأفكار والمزج بينها من أجل الكشف عن حقائق راسخة. فكل مثلث قائم الزاوية رُسم من قبل زمن، وبعده إلى الأبد، يطيع النظرية الشهيرة التي تحمل اسمه. ولا توجد استثناءات. يمكنك بالطبع تغيير الافتراضات بحيث تجد نفسك تستكشف عوالم جديدة، كما في حالة المثلث المرسوم على سطح منحنٍ، مثل جلد كرة السلة، والتي من الممكن أن تتعارض مع النتيجة التي خلص إليها فيثاغورس، ولكن إذا أصلحت افتراضاتك، ودقّقت جيدًا في عملك، ستكون النتيجة التي تتوصل إليها جاهزة لأن تُحفَر في الصخر. لا ضرورة لتسلّق قمم الجبال، أو الهيام في الصحراء، أو الانتصار على العالم السُّفلي. بل يمكنك الجلوس بارتياح إلى مكتبك، وأن تستخدم ورقة وقلم رصاص، وعقلك الثاقب، كي تخلق شيئًا خالدًا.

فتح هذا المنظور أمامي عالمًا جديدًا. لم يسبق لي قط أن سألت نفسي عن «سبب» انجذابي بهذه الصورة العميقة إلى الرياضيات والفيزياء. حل المشكلات، ومعرفة الكيفية التي يتشكل بها الكون، هذا ما أسرني طوال الوقت. وصرتُ الآن مقتنعًا بأنني انجذبتُ إلى هذين المجالين لأنهما كانا يمسان الطبيعة الزائلة للحياة اليومية. ومهما تسبّبت أحاسيسي اليافعة في المبالغة بالتزامي، فقد كنت متأكّدًا فجأة من أنني أريد أن أكون جزءًا من رحلة نحو رؤى شديدة الجوهرية، إلى درجة أنها لن تتغير مطلقًا. فلتنهض الحكومات وتسقط، ولتفُز فرقٌ بنهائي دوري البيسبول وتخسر فرق أخرى،

ولتظهر أساطير السينما والتلفاز والمسرح وتختفي. فما أردته هو قضاء حياتي محاولًا رؤية لمحة من شيء يسمو فوق الوجود المادي.

في الوقت ذاته، كان يتعيّن عليّ كتابة تلك الورقة الخاصّة بمادة علم النفس. تمثَّلَ الفرض في تطوير نظرية حول سبب قيام البشر بما يفعلونه. لكن، في كل مرة كنت أشرع في الكتابة، بدا المشروع شديد الإبهام. فإذا غلّفت أفكارًا تبدو معقولة باللغة الصحيحة، يبدو أنه سيكون بمقدورك اختلاق ما تشاء. ذكرتُ هذا خلال تناول العشاء في مسكني الجامعي، واقترح أحد المشرفين المقيمين أن ألقي نظرة على كتاب *Decline of the West* لـ أوزوالد شبينجلر. كان شبينجلر مؤرخًا وفيلسوفًا ألمانيًّا، وكان دائم الاهتمام بكلٍّ من الرياضيات والعلم، ولا شك أن هذا هو سبب ترشيح هذا الكتاب لي.

إن الجوانب المسؤولة عمّا تمتّع به هذا الكتاب من شهرة وما ناله من ازدراء –التنبؤ بالانفجار السياسي الداخلي، والترويج المستتر للفاشية–، كانت مقلقة بشدة واستُخدمَت منذ ذلك الحين في دعم أيديولوجيات خبيثة، لكنني كنت شديد التركيز على نطاق ضيّق بحيث لم أستوعب أيًا من هذا. وبدلًا من ذلك فقد أثارت اهتمامي رؤية شبينجلر الخاصّة بمجموعة شاملة تمام الشمول من المبادئ التي من شأنها أن تكشف عن أنماط خفية تتجسّد في وضوح عبر ثقافات متباينة، مكافئة للأنماط التي يجسدها بوضوح حساب التفاضل والتكامل والهندسة الإقليدية التي غيرت فهمنا للفيزياء والرياضيات تغييرًا جذريًّا[2]. كان شبينجلر يتحدّث بلغتي. وكان من الملهم أن يُظهر نص تاريخي تبجيله للرياضيات والفيزياء باعتبارهما قالبًا للتقدم. لكن، بعد ذلك صادفت ملحوظة أثارت دهشتي إلى أقصى حدٍّ: «الإنسان هو الكائن الوحيد الذي يعرف الموت، فكل الكائنات الأخرى تشيخ، بيد أن وعيها يظل مقصورًا على اللحظة التي من المؤكد أنها تبدو أبدية لها»، وهي معرفة ترسّخ «الخوف البشري الجوهري في وجود الموت». وخلص شبينجلر إلى أن «كل ديانة، وكل بحث علمي، وكل فلسفة تنبثق منه»[3].

أذكر أنني أمعنت التفكير في السطر الأخير. فها هو منظور للتحفيز البشري بدا معقولًا في نظري. ربما يكمن سحر البرهان الرياضي في أنه يظل صامدًا إلى الأبد. وربما تكمن جاذبية القانون الطبيعي في أنه يتّسم بالسرمدية. لكن ما الذي يدفعنا نحو السعي إلى ما هو خالد، والبحث عن سِمات ربما تظلّ باقية إلى الأبد؟ ربما يأتي كل هذا من إدراكنا المتفرّد أننا بعيدون كل البُعد عن الأبدية، وأن حياتنا بعيدة كل البُعد عن الخلود. توافقت هذه الفكرة مع تفكيري الجديد حول الرياضيات والفيزياء، وإغراء الخلود، وشعرت بأنها أصابت كبد الحقيقة. كان هذا نهجًا إلى فهم التحفيز البشري، قائمًا على رد فعل معقول نحو إدراك شامل. كان نهجًا لا يختلق الأشياء من العدم.

وبينما واصلتُ التفكير في هذه النتيجة، بدا لي أنها تعِد بشيء أكبر. فالعلم، بحسب ما ذكر شبينجلر، هو أحد الاستجابات إلى معرفتنا بنهايتنا الحتمية. وكذلك الدين، والفلسفة. لكن لماذا نتوقّف عند هذا الحد حقًّا؟ بالطبع ينبغي ألّا نفعل، هذا ما يراه أوتو رانك، أحد التلاميذ المبكرين لفرويد، والذي كان منبهرًا بالعملية الإبداعية البشرية. ووفق تقييم رانك فإن الفنان هو شخص «يحاول حافزه الإبداعي... تحويل الحياة العابرة إلى خلود شخصي»[4]. ومضى جان بول سارتر إلى ما هو أبعد من هذا، وقال إن الحياة نفسها تغدو خالية من المعنى «عندما نفقد وهم الخلود»[5]. هذا الرأي الذي يشق طريقه عبر هؤلاء المفكّرين وغيرهم من المفكّرين اللاحقين عليهم، مفاده أن جُل الثقافة البشرية -من الاستكشاف الفني إلى الاكتشاف العلمي- مدفوعة بالحياة التي تتدبّر الطبيعة المتناهية للحياة.

إنها ورطة كبيرة. فمن كان يعلم أن الانشغال بأشياء رياضية وفيزيائية سيوصلنا إلى رؤى خاصّة بنظرية موحّدة للحضارة البشرية مدفوعة بثنائية الحياة والموت الثرية؟

حسنًا، لا بأس. أخذت نَفَسًا عميقًا وذَكَّرتُ نفسي وأنا في عامي الجامعي الثاني بألّا أنجرف كثيرًا مع الأمر. ومع ذلك فإن شعور الإثارة الذي أحسستُ به كان أكثر من مجرّد إحساس عابر بالدهشة الفكرية. وخلال زهاء أربعة عقود تالية على ذلك ظلّت هذه الأفكار تلازمني، تختمر في هدوء داخل ذهني. وعلى الرغم من أن عملي اليومي كان مُنصَبًّا على استكشاف النظريات الموحَّدة والأصول الكونية، فعن طريق التفكير في المغزى الأكبر للتقدم العلمي وجدت نفسي أعود تكرارًا إلى مسائل الزمن والمقدار المحدود المُعطى لكل منا. والآن، نتيجة التدريب والطبع، صرتُ متشكّكًا في وجود تفسير واحد يناسب الجميع -فالفيزياء مليئة بالنظريات الموحّدة غير الناجحة الخاصة بقوى الطبيعة- ويزداد الأمر سوءًا إذا دخلنا العالم المعقّد للسلوك البشري. وفي الواقع، صرت أرى أن وعيي بنهايتي الحتمية له تأثير عظيم عليّ، لكنه لا يقدّم تفسيرًا عامًّا شاملًا لكل شيء أفعله. وأتصوّر أن هذا الرأي شائع بدرجات متفاوتة. ومع ذلك، فهناك منحًى واحدٌ يبدو فيه الفناء البشري حاضرًا بصورة محسوسة.

عبر الثقافات، وعلى مر العصور، أولينا أهمية عظيمة للديمومة. وقد فعلنا هذا بطرق وفيرة: فالبعض يسعى وراء الحقيقة المُطلقة، بينما يتحرّق البعض الآخر إلى ترك إرث دائم، والبعض يبنى صروحًا مهيبة، والبعض يطارد القوانين الراسخة، بينما لا يزال آخرون يتحوّلون بحماسة نحو صورة أو أخرى من صور الديمومة. والأبدية، كما توضح هذه الانشغالات، لها تأثير جاذب كبير على أي عقل يعي أن بقاءه المادي محدود.

في عصرنا، شق العلماء المجهَّزون بأدوات التجريب والملاحظة والتحليل الرياضي طريقًا جديدًا نحو المستقبل، طريقًا كشف للمرة الأولى عن سمات بارزة للمشهد الحتمي، والبعيد مع ذلك، الذي ينتظرنا. وعلى الرغم من وجود بعض الضباب الذي يغشى الرؤية هنا أو هناك، فقد صارت الصورة الإجمالية واضحة بدرجة كبيرة بحيث صار باستطاعتنا نحن الكائنات المتأمّلة أن نتبيّن بصورة أوفى من ذي قبل كيف نجد موضعنا الملائم داخل الحيّز الزمني الفسيح.

بهذه الروح، سنسبر في الصفحات التالية الخط الزمني للكون، مستكشفين المبادئ الفيزيائية التي تنتج البنى المنظَّمة من النجوم والمجرّات إلى الحياة والوعي، داخل كون محكوم عليه بالفناء. وستتدبر الحجج التي تثبت أنه على الرغم من أن البشر يمتلكون حيوات قصيرة، فإن هذا ينطبق بالمثل على كل ظاهرة من ظواهر الحياة والعقل داخل الكون. وفي الواقع، من المرجَّح في نقطة ما ألّا يكون من الممكن وجود أي نوع من المادة المنظمة. وسوف نتدبّر كيف تتعامل الكائنات التي تتفكّر في ذواتها مع التوتر الناتج عن هذا الإدراك. فقد جئنا نتيجة لقوانين أبدية وخالدة، بقدر ما نعرف، ومع ذلك فنحن موجودون للحظة زمنية وجيزة للغاية. وتوجِّهنا قوانين تعمل من دون اعتبار للوجهة. ومع ذلك، دائمًا ما نسأل أنفسنا إلى أين نحن متجهون. ولقد شكلتنا قوانين يبدو أنها لا تتطلّب أي تبرير أساسي، ومع ذلك فنحن نثابر في البحث عن المعنى والغاية.

باختصار، سوف نستعرض الكون من بداية الزمن إلى شيء شبيه بنهايته، وخلال الرحلة سنستكشف الطرق المذهلة التي أوضحت بها العقول المبدعة، التي لا تكف عن المثابرة، الطبيعة العابرة الجوهرية لكل شيء، والطرق التي استجابت بها.

وسترشدنا في هذا الاستكشاف رؤى مأخوذة من مجموعة متنوعة من التخصّصات العلمية. ومن خلال التشبيهات والاستعارات سأوضح كل الأفكار الضرورية بلغة غير متخصّصة، مُفترضًا وجود أبسط خلفية ممكنة وحسب. وبالنسبة إلى المفاهيم المعقّدة بصورة خاصة، سأقدم ملخّصات موجزة تمكّن القارئ من مواصلة القراءة من دون أن يفقد الخيط الأساسي. وفي الملحوظات الختامية سأشرح النقاط الأدق، موضحًا بعض التفاصيل الرياضية الخاصّة، كما أقدّم إحالات واقتراحات للقراءات الإضافية.

ونظرًا إلى أن هذا الموضوع شديد الاتساع والصفحات المتاحة لنا محدودة، فقد اخترت السير في طريق ضيّق، مع التوقف عند نقاط تقاطع عديدة أعتبرها ضرورية من أجل التعرف على موضعنا داخل القصة الكونية الأكبر. إنها رحلة يحرّكها العلم، وتضفي عليها البشرية الأهمية، وهي مصدر لمغامرة نشطة وثرية.

الفصل الأول

إغراء الخلود

البدايات، والنهايات، وما وراءها

مع اكتمال الزمن، كلُّ حَيٍّ سيموت. وعلى مدار أكثر من ثلاثة مليارات عام، وبينما وجدت الأنواع البسيطة والمعقّدة مكانها داخل الترتيب الهرمي للأرض، ألقى منجل الموت ظلًّا دائمًا فوق الحياة المزهرة. انتشر التنوّع بينما أخذت أشكال الحياة تزحف خارجة من المحيطات، وتسير على الأرض، وتطير في السماء. لكن، انتظر فترة كافية وستجد أن دفتر المواليد والوفيات، الذي يضم بنودًا أكثر عددًا من نجوم المجرة، سيتوازن بدقة مذهلة. إن تطوّر أي حياة منفردة يستعصي على التنبؤ، في حين أن المصير النهائي لأي حياة معروف مقدّمًا.

ومع ذلك، فعلى الرغم مما تتصف به هذه النهاية الوشيكة من حتمية كالشمس الغاربة، يبدو أن البشر وحدهم يلحظونها. قبل وصولنا بزمن بعيد، تسبب القصف الهادر لسحب العواصف، والقوة العاتية للبراكين، والارتجاج الهائل للزلازل بالتأكيد، في هروب الكائنات القادرة على الركض. غير أن هذا الفرار كان رَدَّ فعل غريزيًّا لخطر حاضر. أما جُل صور الحياة فتعيش في أسر اللحظة الحاضرة، ويكون خوفها ناتجًا عن إدراكها الفوري المباشر. فقط أنا وأنت وبقية البشر يمكننا التفكير في الماضي البعيد، وتخيل المستقبل، وفهم الظلام الذي ينتظرنا.

الأمر مرعب. وهو ليس من نوعية الرعب الذي يجعلنا نجفل ونركض سعيًا للاحتماء، بل هو نذير سوء يعيش بهدوء داخلنا، ونتعلم تهدئته، وتقبّله، والاستهانة به. لكن تحت الطبقات الحاجبة توجد الحقيقة المؤرقة الحاضرة على الدوام لما ينتظرنا، المعرفة التي وصفها ويليام جيمس بأنها «الدودة الناخرة في قلب كل وثبات بهجتنا المعتادة»[1]. فنحن نعمل ونلعبُ، ونَحِنُّ ونجاهد، ونتوق ونحبُّ، وكل هذا يثبّتنا بإحكام أكبر داخل نسيج الحياة التي نتشاركها، وكل هذا سيضيع؛ حسنًا، إذا أعدنا صياغة كلمات ستيفن رايت، سنقول إنه يكفي أن ترعب نفسك بحيث تقطع نصف الطريق إلى الموت، مرتين.

معظمنا، بطبيعة الحال، لا يركّز على النهاية، وهو ما يقينا من الجنون. فنحن نجوب العالم ونركّز على الهموم الخارجية، ونتقبل المحتوم ونوجّه طاقتنا إلى الأشياء الأخرى. ومع ذلك فإن إدراك أن وقتنا محدود يظلّ باقيًا معنًا دائمًا، ويساعدنا في تشكيل الخيارات التي نقوم بها، والتحديات التي نقبلها، والمسارات التي نسير فيها. وبحسب ما ذهب إليه إرنست بيكر، اختصاصي الأنثروبولوجيا الثقافية، فإننا نرزح تحت وطأة توتر وجودي دائم، فننجذب إلى السماء بواسطة وعي يمكن أن يصل إلى آفاق شكسبير وبيتهوفن وأينشتاين، لكننا مقيَّدون إلى الأرض بجسد مادي سيتحلل إلى رماد. «إن الإنسان منقسم، حرفيًا، إلى شقّين: فهو يمتلك وعيًا بتفرّده البديع يجعله يَبرُز بين الطبيعة بجَلال شاهق، ومع ذلك فهو يعود مجدّدًا إلى أسفل سطح الأرض ببضع أقدام كي يتعفّن في خرَقٍ وعمًى ويختفي إلى الأبد»[2]. ووفق بيكر فنحن مدفوعون بهذا الوعي إلى إنكار قدرة الموت على محونا. يهدئ البعض مخاوفه الوجودية من خلال الالتزام نحو أسرة، أو فريق، أو حركة، أو ديانة، أو دولة، وكلّها بِنى مُختلقة ستدوم وتتجاوز مدة بقاء الفرد على الأرض. وثمة آخرون يتركون وراءهم تعبيرات إبداعية، أعمالًا فنية تمد فترة وجودهم بصورة رمزية. وقال إيمرسون: «نحن نفرّ إلى الجمال، كملجأ يعصمنا من أهوال طبيعتنا المتناهية»[3]. وثمة آخرون لا يزالون يسعون إلى قهر الموت عبر الفوز أو القهر، كما لو أن الطبيعة والسلطة والثروة تمنحهم حصانة غير متاحة لعامة الفانين.

وعلى مدار آلاف الأعوام، تمثّلت إحدى التبعات في وجود افتتان واسع النطاق بكل الأشياء التي تمسّ موضوع الخلود، الحقيقية منها والمُتخيَّلة. ومن نبوءات الحياة الأخرى إلى تعاليم تناسخ الأرواح إلى مناشدات الماندالا التي تعصف بها الرياح، ابتكر البشر استراتيجيات للتعامل مع معرفتنا بفنائنا، والتسليم أحيانًا، مشفوعين بالأمل، بالتطلع إلى الخلود. الشيء الجديد في عصرنا الحالي هو القدرة المذهلة للعلم على رواية قصة جلية ليس عن الماضي وحسب، وصولًا إلى الانفجار العظيم، وإنما عن المستقبل كذلك. ربما يقع الخلود نفسه خارج متناول معادلاتنا على الدوام، غير أن تحليلاتنا كشفت بالفعل أن الكون الذي نعرفه عابر ووقتي. ومن الكواكب إلى النجوم، ومن المجموعات الشمسية إلى المجرّات، ومن الثقوب السوداء إلى السُّدُم الدوّارة، لا شيء يدوم إلى الأبد. وفي الواقع، في ضوء ما نعرفه، ليست الحيوات الفردية هي المنتهية وحدها، بل ينطبق هذا على الحياة الكلّية ذاتها. فكوكب الأرض، الذي وصفه كارل ساجان بأنه «ذرة غبار عالقة في شعاع شمس»، ما هو إلّا زهرة سريعة الزوال داخل كونٍ خلّابٍ سيصير في النهاية قاحلًا. فذرات الغبار، القريبة أو البعيدة، تتراقص على أشعة الشمس للحظة عابرة وحسب.

ومع هذا، فقد ميّزنا لحظتنا هنا على الأرض بإنجازات مذهلة من الرؤى والإبداع والعبقرية، بينما أخذ كل جيل يضيف إلى إنجازات الأجيال السابقة عليه، ساعيًا إلى استيضاح الكيفية التي جاء بها كل شيء، ومُنشدًا الترابط في ما سيصير إليه كل شيء، وتوّاقًا إلى الحصول على جواب يوضح سبب أهمية كل شيء.

وتلك هي قصة كتابنا هذا.

قصصٌ عن كل شيء تقريبًا

نحن نوع يبتهج بالقصص. فنحن نتطلّع إلى الواقع، ونستوعب الأنماط، ونربطها في سرديات قادرة على أسر الاهتمام، والتعليم، وإثارة الدهشة، والإمتاع، وإذكاء الحماسة. ومن الضروري بشدّة استخدام صيغة الجمع لكلمة سردية. ففي مكتبة الفكر الإنساني لا يوجد مجلد واحد متفَق عليه يضم فهمنا النهائي والمُطلَق. وبدلًا من ذلك فقد كتبنا العديد من القصص المتداخلة التي تسبر نطاقات مختلفة من الاستقصاء والخبرة البشريَّين: قصص تحلل أنماط الواقع باستخدام قواعد لغوية ومفردات مختلفة. إن البروتونات والنيوترونات والإلكترونات وجُسَيْمات الطبيعة الأخرى ضرورية من أجل رواية قصتنا الاختزالية، وتحليل مادة الواقع، من الكواكب إلى بيكاسو، من منظور مكوناتها المادّية المتناهية الصغر. كما أن الأيض والتضاعف والتضافر والتكيّف كلّها أمور أساسية لرواية قصة ظهور الحياة وتطورها، وتحليل الآليات البيوكيميائية للجزيئات والخلايا المذهلة التي تحكمها. وبالمثل فإن الخلايا العصبية والمعلومات والأفكار والوعي كلّها أمور ضرورية من أجل رواية قصّة العقل؛ ومع هذه المكونات تتزايد السرديات: من الأساطير إلى الأديان، ومن الأدب إلى الفلسفة، ومن الفن إلى الموسيقى، بحيث تروي صراع البشرية من أجل البقاء، وإرادة الفهم لديها، والدافع الملحّ للتعبير عن ذاتها والبحث عن المعنى.

هذه كلها قصص مستمرة آخذة في التطور، ابتكرها مفكّرون آتون من طيف عظيم من المشارب الفكرية المختلفة. وهذا أمر مفهوم. فالملحمة التي تتراوح في تناولها من الكواركات إلى الوعي تعد تأريخًا جَسيمًا. ومع هذا فالقصص المختلفة متشابكة في ما بينها معًا. تتناول رواية «دون كيخوته»، تَوْق البشرية إلى الفعل البطولي، وتُروى من منظور ألونسو كيخانو الهشّ، تلك الشخصية صنيعة مخيلة ميجيل دي ثربانتس، ذلك الكائن الحي، الذي يتنفّس ويفكّر ويشعر ويدرك، ويتألف من مجموعة من العظام والأنسجة والخلايا التي تدعم، خلال حياته، عملياتٍ عضويةً مثل تحويل الطاقة وإخراج الفضلات، وهي العمليات التي تعتمد على حركات ذرية وجُزيئية شحذتها

مليارات الأعوام من التطور على ظهر كوكب تشكّل من فتات انفجارات المستعرات العظمى المتناثرة في أرجاء عالم من الفضاء بزغ نتيجة الانفجار العظيم. ومع هذا فقراءة رواية دون كيخوته الشاقّة، تعني اكتساب فهم للطبيعة البشرية كان من شأنه أن يظلّ مبهَمًا إذا جرى تضمينه في وصف لحركات جزّيئات الفارس الساعي وذراته، أو توصيله عبر الاسترسال في وصف العمليات العصبية التي تعتمل في عقل ثربانتس بينما يكتب الرواية. فالقصص المختلفة، المَروية بلغات مختلفة وتركز على مستويات مختلفة من الواقع، تقدّم رؤى شديدة التباين، رغم كونها متّصلة معًا بالتأكيد.

ربما نستطيع ذات يوم الانتقال بسلاسة بين هذه القصص، بحيث نربط معًا كل منتجات العقل البشري، الواقعي منها والروائي، العلمي منها والخيالي. وربما نتمكّن ذات يوم من استحضار نظرية موحدة ذات مكوّنات دقيقة تفسر الرؤية المبهمة لرودان والاستجابات المتعددة التي تستثيرها منحوتته «برجوازيّو كاليه» في نفوس من يرونها. وربما نستوعب بشكلٍ كاملٍ كيف يمكن لوميض الضوء العادي المنعكس من طبق عشاء دوّار أن يدخل إلى العقل الفَذّ لريتشارد فاينمان ويجبره على إعادة كتابة قوانين الفيزياء الرئيسية. وثمة مسعى أشد طموحًا يتمثل في أننا قد نستطيع ذات يوم فهم آليات عمل العقل والمادة بصورة كاملة بحيث تتضح حقيقة كل شيء أمامنا، من الثقوب السوداء إلى موسيقى بيتهوفن، ومن الغرابة الكَمّية إلى أشعار والت ويتمان. لكن حتى من دون امتلاك شيء قريب البتة من هذه القدرة، ثمة الكثير مما يمكن اكتسابه عن طريق غمس أنفسنا داخل هذه القصص -العلمية والإبداعية والخيالية- وتقدير متى وكيف ظهرت من القصص السابقة عليها في السجل التاريخي الكوني، وتتبع التطوّرات، الجدلية والحاسمة، التي رفعت كل قصة منها إلى مكانها التفسيري البارز[4].

إغراء الخلود

عبر مجموعة القصص سيتضح لنا وجود قوتَين تتقاسمان دور الشخصية الرئيسية. في الفصل الثاني سنقابل أولى هاتين القوتين: *الإنتروبيا*. وعلى الرغم من أن هذا المفهوم مألوف من جانب الكثيرين بسبب ارتباطه بالفوضى، وبسبب التصريح المُقتبَس بكثرة والقائل بأن الفوضى دائمًا في ازدياد، فإن الإنتروبيا لها صفات دقيقة تمكّن الأنظمة المادية من التطوّر بمجموعة متنوّعة من الطرق، وأحيانًا تبدو هذه الأنظمة وكأنها تسبح ضد تيار الإنتروبيا. سنرى أمثلة مهمة على هذا الأمر في الفصل الثالث، حين بدا وكأن الجُسَيْمات الموجودة في أعقاب الانفجار العظيم هزأت بهذه الفوضى وتطورت إلى بِنى منظَّمة، كالنجوم والمجرات والكواكب، وفي النهاية إلى أشكال من المادة

تجيش بتيار الحياة. ويأخذنا التساؤل عن الكيفية التي بدأ بها هذا التيار إلى التأثير الثاني المتغلغل: *التطور*.

على الرغم من أن التطور عن طريق الانتخاب الطبيعي هو المحرك الأساسي الكامن خلف التحوّل التدريجي الذي تمر به المنظومات الحية، فإنه بدأ العمل قبل أن تبدأ أولى صور الحياة في التنافس بزمن بعيد. وفي الفصل الرابع سنقابل الجزَيئات وهي تتعارك مع جزيئات أخرى، ونرى صراعات من أجل البقاء تُشَن داخل نطاق المادة غير الحية. وعلى الأرجح فقد أنتجت جولة تلو الأخرى من الداروينية الجزيئية، وهو الاسم الذي يُطلَق على هذه المعارك الكيميائية، سلسلةً من التكوينات المتزايدة القوة والمتانة أنتجت في النهاية مجموعات الجزيئات الأولى التي ندركها باعتبارها الحياة. لا تزال تفاصيل ذلك الأمر مادة لأكثر الأبحاث تقدّمًا. لكن، في ضوء التقدم العظيم المتحقّق خلال العقدين الماضيين، ثمة إجماع على أننا نسير في الطريق الصحيح. وفي الواقع، ربما يتبين أن قوَّتَيْ الإنتروبيا والتطوّر المتلازمتين شريكان متوافقان جيدًا في الرحلة صوب ظهور الحياة. وعلى الرغم من أن هذا قد يبدو اقترانًا عجيبًا -إذ إن المَيْل العام للإنتروبيا يتجه صوب الفوضى، التي تبدو نقيضًا تامًّا لتطور الحياة- فإن التحليلات الرياضية الحديثة للإنتروبيا تشير إلى أن الحياة، أو على الأقل الصفات الشبيهة بالحياة، ربما تكون النتاج المتوقَّع لمصدر طويل العمر من الطاقة، كالشمس، يغدق الضوء والحرارة بلا هوادة على مكونات جزيئية تتنافس على الموارد المحدودة المتاحة على كوكب كالأرض.

ومع أن بعض هذه الأفكار لا يزال غير مكتملٍ في وقتنا الحالي، فإن الأمر المؤكد هو أنه بعد مرور مليار عام أو نحو ذلك على تكوُّن الأرض، كان الكوكب يعجّ بالحياة الآخذة في النمو تحت ضغط تطوري، وهكذا كانت المرحلة التالية للنمو هي الحالة الداروينية القياسية. إن الحوادث التي تقع بمحض الصدفة، مثل التعرّض للأشعة الكونية أو المعاناة من خطأ جُزَيئي خلال مرحلة تضاعف الحمض النووي، تؤدي إلى طفرات عشوائية، وبعض هذه الطفرات يكون له تأثير طفيف على صحة الكائن أو رفاهيته، بينما البعض الآخر يجعل الكائن أكثر صلاحية أو أقل داخل المنافسة من أجل البقاء. وتلك الطفرات التي تحسّن الصلاحية من المرجّح بدرجة أكبر أن يتم تمريرها إلى ذرية الكائن؛ لأن المعنى الأساسي لكلمة «الأصلح» هي أن يمتلك حامل الصفة فرصة أكبر في البقاء أو الوصول إلى النضج الجنسي أو إنتاج ذرية تتسم بالصلاحية. وهكذا انتشرت صفات الصلاحية، من جيل إلى آخر، على نطاق واسع.

بعد مليارات أخرى من الأعوام، وفي حين واصلت هذه العملية الطويلة سيرها،

أمدَّت مجموعة خاصة من الطفرات جزءًا من الحياة بقدرة مُحَسَّنة على الإدراك. فثمة جزء من الحياة لم يصبح واعيًا فحسب، وإنما أصبح واعيًا إلى كونه واعيًا. ويعني هذا أن جزءًا من الحياة اكتسب إدراكًا واعيًا بالذات. وكان من الطبيعي أن تتساءل هذه الكائنات المتفكرة في ذواتها عن ماهية الوعي وكيف نشأ: فكيف يمكن لدوامة من المادة عديمة العقل أن تفكّر وتشعر؟ كما سنناقش في الفصل الخامس، فإن عددًا كبيرًا من الأبحاث يتنبأ بوجود تفسير ميكانيكي. ويذهب أصحاب هذه الأبحاث إلى أننا بحاجة إلى فهم الدماغ -مكوناته ووظيفته وصلاته- بدقة أكبر بكثير مما عليه الحال حاليًا، لكن بمجرّد أن نمتلك هذه المعرفة، سيتبع ذلك ظهور تفسير للوعي. وثمة آخرون يتنبأون بأننا نواجه تحدّيًا أعظم بكثير، ويذهبون إلى أن الوعي هو أصعب الألغاز التي قابلناها على الإطلاق، وأنه سوف يتطلّب منا التحلي بمنظورات جديدة تمامًا ليس فقط نحو العقل وإنما نحو طبيعة الواقع ذاتها أيضًا.

تتّفق الآراء عند تقييم تأثير تعقيدنا الإدراكي على ذخيرتنا السلوكية. فعبر عشرات الآلاف من الأجيال خلال عصر البليستوسين، العصر الحديث الأقرب، اجتمع أسلافنا معًا في مجموعات استطاعت البقاء عبر القيام بأعمال الصيد وجمع الثمار. ومع الوقت، أمدَّتهم البراعة العقلية البازغة بقدرات أرقى على التخطيط والتنظيم والتواصل والتعليم والتقييم والحُكم وحل المشكلات. واستفادت المجموعات من هذه القدرات المحسَّنة للأفراد، ومارست تأثيرات جماعية مؤثرة على نحو متزايد. وهذا يأخذنا إلى المجموعة التالية من التفسيرات، التي ركّزت على التطوّرات التي جعلتنا ما نحن عليه. وفي الفصل السادس سنتناول عملية اكتسابنا للغة وما ترتب عليها من هوس برواية القصص، بينما يستكشف الفصل السابع نوعًا معيّنًا من القصص؛ تلك القصص التي تؤذِن بظهور التقاليد الدينية والتحوّل إليها، أما في الفصل الثامن فستندبر السعي وراء التعبير الإبداعي، ذلك السعي الموجود منذ زمن بعيد والمنتشر انتشارًا واسعًا.

وفي خضَمّ البحث عن أصول هذه التطورات، العامة منها والمقدّسة، لجأ الباحثون إلى طيف عريض من التفسيرات. بالنسبة إلينا، لا يزال التطور الدارويني هو الضوء الأساسي المُرشد، ويُطبَّق الآن على السلوك البشري. فالدماغ، على أي حال، ما هو إلّا بنية بيولوجية أخرى تتطوّر عبر الضغوط التطورية، والدماغ هو ما يوجّه معرفتنا بما نفعل ويوجه استجابتنا. وعلى مدار العقود القليلة الماضية، طوّر العلماء المعرفيون وعلماء النفس التطوريون هذا المنظور، وأثبتوا أن الكثير من طبائعنا البيولوجية يشكّل بواسطة قوى الانتخاب الدارويني، وهذا ينطبق أيضًا على سلوكنا. وهكذا، ففي رحلتنا عبر الثقافة البشرية كثيرًا ما سنسأل عما إذا كان هذا السلوك أو ذاك قد حسَّن فرص

البقاء والتكاثر لدى أولئك الذين مارسوه منذ زمن بعيد، وهو ما شجع على انتشاره عبر الأجيال التالية. ومع ذلك، فخلافًا لأصبع الإبهام المقابل أو المشية المنتصبة -وهي سمات فيسيولوجية موروثة ومرتبطة عن كثب بسلوكيات تكيفية محددة- فإن الكثير من السمات الموروثة للدماغ يشكل ميولًا وليس أفعالًا حاسمة. ونحن نتأثر بهذه الميول، لكن النشاط البشري ينتج عن امتزاج النزعات السلوكية مع عقولنا المعقّدة والمتفكرة والمتأملة في ذاتها.

وهكذا سَيُسَلَّط ضوء مرشد ثانٍ، منفصل ولكن ليس أقل أهمية، على الحياة الداخلية التي تصاحب قدراتنا المعرفية المنقَّحة. واهتداءً بالأثر الذي تركه مفكّرون كثيرون، سنصل إلى مشهد كاشف: إذ بفضل الإدراك البشري تمكنّا بالتأكيد من تسخير قوة عاتية، قوة رفعتنا مع الوقت بحيث صرنا النوع المهيمن على العالم. بيد أن القدرات العقلية التي تمكّننا من التشكيل والبناء والابتكار هي ذاتها القدرات التي ستبدّد قِصر النظر الذي من شأنه أن يجعل تركيزنا ضيّقًا ومنصَبًّا على الحاضر وحسب. فالقدرة على تغيير البيئة بعناية توفر القدرة على تغيير منظورنا، بحيث نسمو ونحلّق فوق الخط الزمني ونتأمّل ما كان، ونتخيّل ما سيكون. ومهما كنا نفضل العكس، فإن الوصول إلى مفهوم «أنا أفكر إذن أنا موجود»، يقودنا مباشرة إلى رد سريع مفاده «أنا موجود إذن أنا سأموت».

أقل ما يوصَف به هذا الإدراك هو أنه محبط. ومع ذلك فمعظمنا يستطيع القبول به. ويشهد بقاؤنا كنوعٍ على قدرة أسلافنا على تقبّل الأمر أيضًا. لكن كيف نفعل هذا؟[5] يذهب أحد مناهجِ التفكير إلى أننا نروي، ونعيد رواية قصص ينتقل فيها مكاننا إلى موضع مركزي في الكون، ويجري فيها تحدي احتمالية فنائنا الدائم أو تجاهلها، أو ببساطة لا تضمها القصص من الأساس. فنحن نبدع أعمالًا في الرسم والنحت والحركة والموسيقى، ننتزع فيها السيطرة على الخلق، ونمنح أنفسنا القدرة على قهر كل الأشياء المتناهية. ونتخيّل أبطالًا، من هرقل إلى سير غواين إلى هيرميون، يحدّقون في عين الموت بعزم لا يلين ويثبتون، وإن كان بصورة مُتخيَّلة، أن باستطاعتنا قهره نحن أيضًا. ونحن نبتكر العلم، وهذا العلم يقدّم رؤى حول آليات عمل الواقع نحوّلها إلى قوى وقدرات كانت الأجيال السابقة تختص بها الآلهة وحدها. واختصارًا نقول إننا قادرون على أن نمتلك كعكتنا الإدراكية الخاصة بنا -دقة الفكر التي تكشف، من ضمن أشياء أخرى كثيرة، عن معضلتنا الوجودية- والاستمتاع بتناولها كذلك. فمن خلال قدراتنا الإبداعية طوّرنا دفاعات قوية ضد ما من شأنه دون ذلك أن يكون قلقًا مُضنيًا.

وعلى أي حال، نظرًا إلى أن الدوافع لا تتحوّل إلى حفريات، فإن تتبع بواعث السلوك

البشري من الممكن أن يكون مشروعًا صعبًا. فغزواتنا الإبداعية، من الغزلان المرسومة على جدران كهف لاسكو إلى معادلات النسبية العامة، ربما تبزغ من قدرة الدماغ على رصد الأنماط وتنظيمها على نحو متّسق، تلك القدرة التي تطوّرت بالانتخاب الطبيعي والنشطة بشدة. وربما تكون هذه المساعي، وغيرها من المساعي ذات الصلة، منتجات جانبية أنيقة، ولكن غير ضرورية من الناحية التكيّفية، لدماغ كبير بما يكفي التحرر من تركيزه الدائم طوال الوقت على تأمين المأوى والقوت. كما سنرى، تكثر النظريات، لكن يصعب الوصول إلى نتائج حاسمة. وما يقع وراء السؤال هو أننا نتخيل ونبتكر ونعايش الأعمال، من الأهرامات إلى السيمفونية التاسعة إلى ميكانيكا الكم، التي تُعَدّ معالم بارزة على العبقرية البشرية تشير متانتها واستمراريتها، إن لم يكن محتواها كذلك، نحو الخلود.

وبالترافق مع ذلك، وبعد تدبر الأصول الكونية واستكشاف تكوُّن الذَّرات والنجوم والكواكب والتبحر في ظهور الحياة والوعي والثقافة، سنوجه أنظارها صوب العالم الذي حفَّز، حرفيًا ورمزيًا، قلقنا الكوني وهدَّأه في الوقت ذاته على مدار آلاف الأعوام. أي ستتناول ما يحدث بين اللحظة الحاضرة والأبدية.

المعلومات، والوعي، والأبدية

يفصلنا زمن بعيد عن الأبدية. وسيحدث الكثير على مر الطريق. يتخيل المنظّرون المستقبليون المتحمسون وكُتّاب الخيال العلمي في هوليوود ما ستكون الحياة والحضارة على مدار فترات زمنية قد تكون كبيرة بالمعايير البشرية، لكنها تتضاءل مقارنة بالنطاقات الزمنية الكونية. وإنها لتسلية ممتعة أن ننتقل بتفكيرنا من امتداد قصير للابتكار التكنولوجي الأسّي إلى التطورات المستقبلية، غير أن هذه التنبوءات من المرجَّح أن تختلف اختلافًا عميقًا عن الكيفية التي ستتكشف بها الحوادث حقًّا، وذلك على امتداد فترات زمنية مألوفة نسبيًّا تتألف من عقود وقرون وألفيات. أما عن التنبؤ بهذه النوعية من التفاصيل على امتداد النطاقات الزمنية الكونية فهو فعل أحمق. ولحسن الحظ، بالنسبة إلى جُل ما سنستكشفه هنا، سنجد أنفسنا على أرض أكثر صلابة. وأعتزم رسم صورة لمستقبل الكون بألوان غنية، لكن بأعرض ضربات فرشاة ممكنة. وفي ضوء هذا المستوى من التفصيل يمكننا تصوير الاحتمالات بدرجة معقولة من الثقة.

ثمة إدراك جوهري يتمثّل في أنه لا يوجد تقريبًا أي قدر من الراحة الشعورية يمكن اكتسابه من ترك أثر في مستقبل خالٍ من أي شخص يلحظ هذا الأثر. فالمستقبل الذي ننوي تخيله هو مستقبل مسكون بنوعيات الأشياء التي نهتم بها، حتى ولو بصورة

ضمنية. من المؤكد أن يوجه التطور الحياة والعقل نحو ثروة من الأشكال المدعومة بطيف من المنصّات؛ البيولوجية والحوسبية والهجينة، وغير ذلك مما لا نعلمه بعد. لكن بصرف النظر عن التفاصيل التي يستحيل التنبؤ بها بشأن التركيب الفيزيائي أو الخلفية البيولوجية، فإن معظمنا يتخيل أن في المستقبل البعيد الفسيح ستوجد حياة من نوع ما، وحياة ذكية بصورة أكثر تحديدًا، وأنها ستكون حياة مفكرة.

وهذا يثير سؤالًا سيظل مصاحبًا لنا خلال رحلتنا: هل من الممكن أن يستمر بقاء التفكير الواعي بلا نهاية؟ أم سيكون العقل المفكّر، مثل النمر التَسْماني أو نقّار الخشب ذي المنقار العاجي، شيئًا ساميًا يعلو لفترة من الزمن ثم ينقرض؟ لا أركز على أي وعي فردي، لذا فإن هذا السؤال لا يتعلّق البتة بالتكنولوجيات المنشودة -كتكنولوجيات التبريد أو التكنولوجيات الرقمية أو غيرها- القادرة على حفظ أي عقل منفرد. وبدلًا من ذلك فإنني أتساءل عما إذا كانت ظاهرة التفكير، المدعومة بدماغ بشري أو حاسب ذكي أو جُسَيْمات متشابكة طافية في الفراغ أو أي عملية فيزيائية أخرى ذات صلة، قادرة على البقاء حتى زمن بعيد في المستقبل.

ولم لا؟ حسنًا، فكّر في التجسيد البشري للتفكير. لقد ظهر التفكير بالترافق مع مجموعة تصادفية من الظروف البيئية التي تفسّر لماذا، مثلًا، يحدث تفكيرنا هنا وليس على كوكب عطارد أو مذنب هالي. فنحن نفكر هنا لأن الظروف هنا مناسبة لاستضافة الحياة والتفكير، ولهذا السبب تعَد التغيرات الضارة بمناخ الأرض مفجعة. لكن ما ليس واضحًا على الإطلاق هو وجود نسخة كونية من مثل هذه المخاوف المترابطة ولكن ضيقة النطاق. وعن طريق التفكير في التفكير بوصفه عملية فيزيائية (وهو افتراض سنتناوله بالبحث)، ليس من المفاجئ أن يحدث التفكير عند الوفاء بظروف بيئية صارمة وحسب، سواء على الأرض في المكان والزمان الحاليين، أو في مكان وزمان آخرَيْن بعيدَيْن. وهكذا بينما نتدبّر التطوّر الواسع النطاق للكون، سنحدّد ما إذا كانت الظروف البيئية المتطورة عبر المكان والزمن باستطاعتها دعم الحياة الذكية بلا نهاية أم لا.

وسيكون التقييم موجَّهًا بواسطة الرؤى المأخوذة من أبحاث فيزياء الجُسَيْمات، والفيزياء الفلكية، وعلم الكونيات، والتي تمكننا من التنبؤ بالكيفية التي سيتكشف بها مستقبل الكون على امتداد حقب زمنية يتضاءل إلى جوارها الخط الزمني منذ الانفجار العظيم. بطبيعة الحال ستكون هناك أمور مهمة غير يقينية، وشأن غالبية العلماء فإنني أعيش على أمل أن تقيّد الطبيعة غطرستنا وتكشف عن مفاجآت لا نستطيع حتى تخيّلها الآن. لكننا سنجد أن التركيز على ما قسناه ورصدناه وحسبناه، كما هو موضح في الفصلين التاسع والعاشر، ليس مشجّعًا. فالكواكب والنجوم والمجموعات الشمسية

والمجرّات، بل والثقوب السوداء، كلها زائلة. وتتحدّد نهاية كل جرم منها بواسطة مزيجه الخاص من العمليات الفيزيائية، التي تمتد من ميكانيكا الكم إلى النسبية العامة، إلى أن يتحول في النهاية إلى غلالة من الجُسَيْمات التي تجوب كونًا باردًا وهادئًا.

كيف سيصير حال التفكير الواعي في كون يمر بمثل هذا التحول؟ مرة أخرى تقدم الإنتروبيا اللغة التي نسأل بها هذا السؤال ونجيب عنه. وعن طريق تتبع أثر الإنتروبيا سنقابل الاحتمالية الواقعية تمامًا المتمثلة في أن كل فعل للتفكير، يقوم به أي كيان من أي نوع في أي مكان، ربما يُعاق نتيجة التراكم الحتمي للمخلّفات البيئية: ففي المستقبل البعيد ربما يحترق أي كيان مفكّر بسبب الحرارة التي يولّدها تفكيره. فالتفكير ذاته ربما يصير مستحيلًا من الناحية الفيزيائية.

وعلى الرغم من أن الحجة المعارضة للتفكير اللانهائي ستكون مبنية على مجموعة متحفّظة من الافتراضات، فإننا سنتدبر أيضًا بعض البدائل؛ نسخ مستقبلية محتملة أكثر تعزيزًا للحياة والتفكير. غير أن القراءة الأبسط والأكثر مباشرة تشير إلى أن الحياة، والحياة الذكية تحديدًا، زائلة. والفترة التي تسمح فيها الظروف، على الخط الزمني الكوني، بوجود كائنات متفكرة في ذواتها ربما تكون ضيقة للغاية. ألقِ نظرة خاطفة على التاريخ الكوني كلّه، وربما تغفل عن ملاحظة الحياة تمامًا. لقد وصف نابوكوف الحياة البشرية بأنها «شعاع ضوء وجيز بين ظُلمتين أبديّتَيْن»[6]، وربما ينطبق هذا الوصف على ظاهرة الحياة نفسها.

نحن نرثو زوالنا ونجد السلوى في السمو الرمزي، في الإرث المتمثل في مشاركتنا في الرحلة من الأساس. فأنت وأنا لن نكون هنا، لكن سيكون هناك آخرون، وما أفعله أنا وأنت، وما نصنعه، وما نتركه وراءنا سيسهم في ما سيكون، وفي الكيفية التي ستُعاش بها الحياة المستقبلية. لكن في كون سيخلو حتمًا في نهاية المطاف من الحياة والوعي، حتى الإرث الرمزي - -الهمسة المقصود إيصالها إلى أحفادنا البعيدين- سيختفي في الفراغ.

أين يتركنا هذا إذًا؟

تأمّلات حول المستقبل

نحن نميل إلى استيعاب النتائج المتعلّقة بالكون على المستوى الفكري. فنحن نتعلّم حقيقة جديدة ما عن الزمن أو النظريات الموحّدة أو الثقوب السوداء، وعلى الفور تدغدغ هذه الحقيقة عقلنا، وإذا كانت مبهرة بما يكفي ستظلّ عالقة به. إن الطبيعة المجرّدة للعلم كثيرًا ما تؤدّي بنا إلى التعمّق في محتواه بصورة معرفية، وحينئذٍ فقط،

ونادرًا فقط، يمتلك ذلك الفهم فرصة أن يمسّ أعماقنا. لكن في المرات التي يناشد فيها العلم كلًّا من العقل والعاطفة، من الممكن أن تكون النتيجة قوية.

مثال على ذلك: منذ بضعة أعوام عندما بدأتُ التفكير في التنبوءات العلمية المتعلّقة بالمستقبل البعيد للكون، كانت خبرتي عقلية في أغلبها. فكنت أستوعب المواد ذات الصلة باعتبارها مجموعة مبهرة، ولكن مجرّدة، من الرؤى التي أوجبتها قوانين الطبيعة الرياضية. ومع ذلك فقد وجدت أنني إذا ضغطت على نفسي كي أتخيل حقًّا الحياة كلّها، كل التفكير والصراع والإنجازات باعتبارها انحرافًا عابرًا عن الخط الزمني الكوني العديم الحياة، كنت أستوعب الأمر بصورة مختلفة. كان بإمكاني أن أشعر به. أن أحسّ به. ولا أمانع في الإفصاح عن أنني في المرات القليلة الأولى التي فعلت بها ذلك كانت الرحلة مظلمة. فعلى مدار عقود من الدراسة والبحث العلمي كثيرًا ما راودتني لحظات من البهجة والاندهاش، لكن لم يحدث قط أن غمرتني نتائج في الرياضيات والفيزياء بذلك الفزع العميق.

ومع الوقت، صُقل ارتباطي العاطفي مع هذه الأفكار. والآن، في أكثر الأحيان، يخلِّف تدبر المستقبل البعيد لديّ شعورًا بالهدوء والاتصال، كما لو أن هويتي الذاتية لم تعد تهم لأنها صارت جزءًا مما أصفه بأنه شعور بالامتنان لهدية الوجود. وبما أنك لا تعرفني على الأرجح بصورة شخصية، دعني أضع الأمر في سياقه. أنا شخص منفتح الفكر، ذو إحساس يتطلّب الصرامة. وقد أتيت من عالم تقدم فيه قضيتك مدعومة بالمعادلات والبيانات القابلة للتكرار، عالم تتحدّد فيه المصداقية بواسطة الحسابات الواضحة التي تقدّم تنبوءات متوافقة مع التجارب رقمًا برقم، وأحيانًا إلى ما وراء الفاصلة العشرية بعشرات المنازل. لذا في المرة الأولى التي مررت فيها بلحظات الهدوء والاتصال هذه -وتصادف وقتها أن كنت في مقهى ستارباكس في مدينة نيويورك- شعرت بالتشكّك العميق. ربما كان شاي إيرل جراي الذي أحتسيه ملوثًا ببعض حليب الصويا الفاسد. أو ربما كنت في سبيلي إلى الجنون.

بالتفكير في الأمر، لم يكن أيٌّ من التفسيرين صحيحًا. فنحن نتاج سلالة طويلة هدّأت فزعها الوجودي عن طريق تخيل أننا نترك وراءنا أثرًا. وكلما كان الأثير باقيًا لفترة أطول، كانت بصمته أصعب في المحو، وبدت الحياة وكأنها ذات أهمية. وبحسب كلمات الفيلسوف روبرت نوزيك فإن «الموت يمحوك... وذلك المحو التام، بآثارك وكل شيء، يعني بدرجة كبيرة تدمير معنى حياة المرء»[7]. وخاصة بالنسبة إلى أولئك الذين لا يمتلكون توجّهًا دينيًا، مثلي، فإن التشديد على عدم «المحو»، والتركيز غير المتواني على البقاء، يمكن أن يتغلغل كل شيء. لقد وجّه هذا التركيز نشأتي، وتعليمي،

وحياتي المهنية، وخبراتي. وخلال كل مرحلة كنت أتقدّم إلى الأمام واضعًا عينَيَّ على المشهد البعيد، على السعي إلى إنجاز شيء يدوم. ولا يوجد لغز وراء هيمنة التحليلات الرياضية للمكان والزمن وقوانين الطبيعة على حياتي المهنية، إذ من الصعب تخيل أي مجال آخر يُبقي أفكار المرء اليومية مركزة على أسئلة تسمو فوق اللحظة الحاضرة. بيد أن الاكتشاف العلمي ذاته يلقي ضوءًا مختلفًا على هذا المنظور. فالحياة والتفكير من المرجَّح أن يسكنا واحة ضئيلة على الخط الزمني الكوني. وعلى الرغم من أن الكون محكوم بقوانين رياضية أنيقة تسمح بكل صور العمليات الفيزيائية المثيرة للعجب، فإنه سوف يستضيف الحياة والعقل بصورة مؤقتة وحسب. وإذا استوعبت هذه الفكرة بالكامل، وتصورت مستقبلًا خاليًا من النجوم والكواكب والكائنات المفكرة، فمن الممكن أن يتّسم تقديرك لحقبتنا بالتبجيل.

وذلك تحديدًا هو الشعور الذي راودني وأنا في مقهى ستارباكس. كان إحساس الهدوء والاتصال علامة على تحول من محاولة استيعاب مستقبل آخذ في الابتعاد إلى شعور بسكن حاضر خَلّاب، وإن كان زائلًا. كانت هدية، في نظري، أملاها نظيرٌ كونيٌّ للإرشاد المقدّم عبر العصور من جانب الشعراء والفلاسفة والكُتّاب والفنانين والحكماء الروحانيين والمعلمين اليقظين، ضمن عدد آخر لا يُحصى ممن يخبروننا بالحقيقة البسيطة والشديدة السمو على نحو مفاجئ، التي تفيد بأن الحياة موجودة في اللحظة والمكان الحاضرين. وهذه العقلية من الصعب التحلي بها والحفاظ عليها، لكنها تغلغلت في تفكير الكثيرين. ونحن نراها في عبارة إيميلي ديكنسون: «الأبد... مؤلف من اللحظات الحاضرة»[8]، وعبارة ثورو: «الخلود موجود في كل لحظة»[9]. إنه منظور، كما وجدت، يصير أكثر تجسيدًا ووضوحًا عندما نغمس أنفسنا في الامتداد الكامل للزمن -من البداية إلى النهاية- في خلفية كونية تقدّم وضوحًا لا نظير له حول الكيفية التي تكون بها اللحظة والمكان الحاضران متفرّدَيْن وعابرَيْن.

يهدف هذا الكتاب إلى تقديم ذلك الوضوح. وسنخوض معًا رحلة عبر الزمن، انطلاقًا من أوضح صور فهمنا للبداية إلى أقرب ما يمكن أن يأخذنا العلم إليه صوب النهاية ذاتها. وسنستكشف كيف ظهرت الحياة والعقل من الفوضى الأولية، وستتدبر ما تفعله مجموعة من العقول الفضولية والشغوفة والتواقة والمبتكرة والمتشككة والمتأمّلة في ذواتها، خاصّة عندما تلاحظ فناءها الخاصّ. وسوف نتناول ظهور الدين، والدافع إلى التعبير الإبداعي، وارتقاء العلم، والسعي وراء الحقيقة، والتوق إلى الخلود. إن الانجذاب المتأصّل نحو شيء خالد، نحو ما عرَّفه فرانز كافكا على أنه حاجتنا إلى «شيء غير قابل للتدمير»[10]، سيدفع بعد ذلك مسيرتنا المتواصلة صوب المستقبل

البعيد، ويُمَكِّنُنا من تقييم الاحتمالات المستقبلية لكل شيء نعتزّ به، كل شيء يشكّل الواقع كما نعرفه، من الكواكب والنجوم والمجرّات والثقوب السوداء، إلى الحياة والعقل.

وعبر هذا كله، ستسطع روح الاكتشاف البشرية. فنحن مستكشفون طموحون يسعون إلى فهم واقع شاسع. وقد أضاءت قرون من الجهود التضاريس المظلمة للمادة والعقل والكون. وخلال آلاف الأعوام التالية ستغدو نطاقات التنوير أكبر وأشد سطوعًا. لقد أكّدت الرحلة حتى الآن أن الواقع محكوم بواسطة قوانين رياضية لا تكترث بالمواثيق السلوكية، أو معايير الجمال، أو الحاجة إلى الرفقة، أو التوق إلى الفهم، أو السعي وراء الغايات. ومع ذلك فقد سخَّرنا، عبر اللغة والقصص والفن والخرافة والدين والعلم، ذلك الجزء الصغير الخاص بنا من الكون الميكانيكي القاسي الفاتر والآخذ في التكشُّف كي نستطيع التعبير عن حاجتنا المتأصلة إلى التناغم والقيمة والمعنى. إنها مساهمة رائعة لكنها وقتية. وكما ستوضح رحلتنا عبر الزمن بجلاء فإن الحياة زائلة على الأرجح، وكل الفهم الذي نشأ مع ظهورها من المؤكد أن يتبدّد مع ما يصاحبه من نتائج. فلا شيء خالد. ولا شيء مُطلَق. وهكذا، في خضم البحث عن القيمة والغاية، تكون الرؤى الوحيدة ذات الصلة، والإجابات الوحيدة المهمة، هي تلك التي نوجدها نحن. وفي النهاية، خلال لحظتنا الوجيزة تحت الشمس، نحن ملزمون بتلك المهمّة النبيلة المتمثلة في العثور على المعنى الخاص بنا.

لنبدأ الرحلة.

الفصل الثاني

لغة الزمن



الماضي، والحاضر، والتغيُّر

في ليلة الثامن والعشرين من يناير العام 1948، وبين إذاعة معزوفة (رباعي وتريات شوبرت في مقام لَا مينور Quartet in A minor) وتقديم بعض الأغنيات الشعبية البريطانية، أذاع راديو هيئة الإذاعة البريطانية مناظرة بين برتراند راسل، الذي يعد أحد أعتى القوى الفكرية في القرن العشرين، والقس اليسوعي فريدريك كوبلستون[1]. ماذا كان الموضوع؟ وجود الله. وقدّم راسل -الذي ستجلب له كتاباته الإبداعية في الفلسفة والمبادئ الإنسانية جائزة نوبل في الأدب لعام 1950، وسببت آراؤه السياسية والاجتماعية المحطِّمة للمعتقدات رفضه من جامعتيّ كامبريدج وسيتي كوليدج في نيويورك- حججًا عديدة تدعو إلى التشكك في وجود خالق، إن لم يكن رفض هذا الوجود.

أحد الخيوط الفكرية التي وجهت موقف راسل، له صلة بالشرح الذي نقدّمه هنا. إذ قال راسل: «في ضوء ما تخبرنا به الأدلة العلمية، فإن الكون زحف عبر مراحل بطيئة إلى نتيجة تدعو للرثاء بدرجة ما على هذه الأرض، وسيزحف بصورة أكثر مدعاة للرثاء نحو الموت الكوني». ومتحليًا بهذه النظرة المتشائمة اختتم راسل بقوله: «إذا أُخذ هذا على أنه دليل على الغاية، فلا يسعني ألّا أن أقول إن تلك الغاية لا تروق لي. ومن ثم لا أرى سببًا يدفعني إلى الإيمان بأي نوع من الآلهة»[2]. سنتناول هذا الخيط الفكري في موضع لاحق من الفصل. أما الآن فأريد التركيز على إشارة راسل إلى الأدلة العلمية التي تشير إلى «الموت الكوني». وهذه الأدلة تأتي من اكتشاف تحقّق في القرن التاسع عشر وله جذور متواضعة ولكن نتائج عميقة.

بحلول منتصف القرن التاسع عشر كانت الثورة الصناعية في أوج قوتها، وعبر مشهد من الطواحين والمصانع صار المحرك البخاري القوة الأساسية الدافعة خلف الإنتاج. ومع ذلك، حتى مع القفزة الحرجة من العمل اليدوي إلى العمل الميكانيكي، كانت كفاءة المحرّك البخاري -أي العمل المفيد الذي يؤدّيه مقارنةً بكمية الوقود

المستهلكة- قليلة للغاية؛ إذ كانت نسبة 95 بالمائة تقريبًا من الحرارة المتولّدة من حرق الخشب أو الفحم تضيع في البيئة على صورة هَدر. ألهم هذا عددًا من العلماء بالتفكير عميقًا بشأن المبادئ الفيزيائية التي تحكم عمل المحرك البخاري، والسعي وراء طرق لحرق قدر أقل من الوقود والحصول على المزيد من الطاقة. وعلى مدار عقود عديدة تالية أدت أبحاثهم تدريجيًّا إلى نتيجة أيقونية اكتسبت شهرة مستحقة، وهي: *القانون الثاني للديناميكا الحرارية*.

بعبارات دارجة (للغاية) نقول إن هذا القانون ينص على أن إنتاج الهدر أمر لا مفر منه. وما يجعل القانون الثاني شديد الأهمية هو أنه بينما كانت المحركات البخارية هي المحفز لصياغته، فإنه كان ينطبق بصورة عامة. فالقانون الثاني يصف سمة جوهرية كامنة في كل صور المادة والطاقة، بصرف النظر عن بنيتها أو شكلها، وما إذا كانت حية أم غير حية. ويكشف القانون (بعبارات فضفاضة مجددًا) أن كل شيء في الكون ينجرف بصورة طاغية إلى التداعي والذبول والانزواء.

بالتعبير عن الفكرة بهذه الكلمات الدارجة، يمكنك أن ترى من أين يأتي موقف راسل. فالمستقبل يبدو وكأنه يحمل تدهورًا متواصلًا، وتحوّلًا بلا هوادة للطاقة المُنتجة إلى حرارة غير مفيدة، واستنزافًا ثابتًا، إن جاز القول، للبطاريات التي تشغِّل الواقع. بيد أن الفهم الأدق للعلم يكشف عن أن هذا الملخص المتعلّق بالوجهة التي يقصدها الواقع يحجب تقدّمًا ثريًّا ومختلفًا، تقدّمًا يسير على قدم وساق منذ الانفجار العظيم وسيستمر إلى المستقبل البعيد. هذا التقدّم يساعد في تفسير موضعنا داخل الخط الزمني الكوني، ويوضح كيف يمكن إنتاج الجمال والنظام على خلفية من التداعي والذبول، كما يقدّم طرقًا محتملة، على غرابتها، لتحاشي المستقبل المُقْبض الذي تخيَّله راسل. وبما أن هذا العلم ذاته، الذي يتضمّن مفاهيم مثل الإنتروبيا والمعلومات والطاقة، هو الذي سيرشدنا خلال جُل رحلتنا، من الجدير أن نقضي بعض الوقت في فهمه بصورة أوفى.

المحركات البخارية

سيكون من قبيل المبالغة من طرفي أن أقول إن معنى الحياة سيُعثر عليه كامنًا في الأعماق المتّسخة لمحرك بخاري صاخب. بيد أن فهم قدرة المحرك البخاري على امتصاص الحرارة من الوقود المحترق واستخدامها في دفع الحركة المتكررة لعجلات قاطرة بخارية أو مضخّة منجم فحم يبدو جزءًا لا يتجزأ من استيعاب الكيفية التي تتطوّر بها الطاقة -من أي نوع وفي أي سياق- بمرور الوقت. والطريقة التي تتطوّر بها الطاقة لها تأثير عميق على مستقبل المادة والعقل وبنية الكون. لذا دعونا ننزل من النطاقات

السامية للحياة والموت والغاية والمعنى إلى الصخب والقعقعة التي لا تهدأ للمحرك البخاري في القرن الثامن عشر.

إن الأساس العلمي الذي يقوم عليه المحرّك البخاري بسيط، ولكنْ عبقري: فبخار الماء يتمدّد عند التسخين، ومن ثم يضغط بقوة دافعة إلى الخارج. والمحرك البخاري يُسَخِّر هذا الفعل عن طريق تسخين أسطوانة مليئة بالبخار ويعلوها كَبَّاس piston مثبت بإحكام وحر الحركة بحيث ينزلق إلى الأعلى والأسفل على امتداد السطح الداخلي للأسطوانة. وعندما يتمدّد بخار الماء فإنه يضغط بقوة على الكباس، وهذه الدفعة إلى الخارج يمكنها أن تدفع عجلة إلى الدوران، أو طاحونة إلى الطحن، أو النول إلى النسج. وبعد ذلك، وبعد استنفاد الطاقة خلال هذه الحركة إلى الخارج، يبرد البخار وينزلق الكباس إلى موضعه الأولي، حيث ينتظر جاهزًا للدفع عند تسخين بخار الماء مجددًا، وتتكرّر هذه الدورة ما دام يوجد وقود لتسخين بخار الماء من جديد[3].

ورغم أن التاريخ يسجل الدور المحوري الذي لعبه المحرك البخاري في الثورة الصناعية، فإن الأسئلة التي أثارها المحرك البخاري في العلوم الأساسية كانت على القدر ذاته من الأهمية. فهل من الممكن أن نفهم المحرك البخاري بدقّة رياضية؟ وهل هناك حد لمقدار الكفاءة التي يحوّل بها الطاقة إلى نشاط مفيد؟ وهل هناك جوانب لعمليات المحرك البخاري منفصلة عن تفاصيل التصميم الميكانيكي، أو المواد المستخدمة ومن ثَم تتصل بمبادئ فيزيائية عامة؟

من خلال التفكير المتعمق في هذه القضايا، دشّن سادي كارنو، الفيزيائي والمهندس العسكري الفرنسي، مجال الديناميكا الحرارية؛ أي علم الحرارة والطاقة والشُّغل. كان من الصعب تبيّن ذلك من عنوان أطروحته التي وضعها في العام 1824: «تأملات حول القوة المحركة للنار»[4]. لكن على الرغم من انتشار أفكاره ببطء، فإنها ألهمت العلماء على مدار القرن التالي بتطوير منظورٍ جديدٍ جذريًا للفيزياء.

منظور إحصائي

إن المنظور العلمي التقليدي، الذي ورثنا صيغته الرياضية من إسحاق نيوتن، يقضي بأن قوانين الفيزياء تقدّم تنبوءات صارمة بشأن الكيفية التي تتحرّك بها الأجسام. فإذا أخبرتني بموضع وسرعة جسم ما في أي لحظة زمنية معينة، وأخبرتني بالقوى التي تؤثّر عليه، ستتولّى معادلات نيوتن البقية، وتتنبأ بالمسار اللاحق للجسم. وسواء أكنا بصدد القمر الواقع تحت تأثير جاذبية الأرض أم كرة بيسبول ضربتها للتو نحو منتصف الملعب، فقد أكّدت المشاهدات أن هذه التنبوءات تتّسم بالدقة التامة.

لكن هناك استثناء. وإذا درست الفيزياء بالمدرسة الثانوية ربما تتذكّر أنه عندما نحلل مسارات الأجسام العيانية فإننا في المعتاد، وفي هدوء، نقوم بعدد كبير من التبسيطات المفرطة. وفي حالة القمر وكرة البيسبول نتجاهل بنيتهما الداخلية ونتصوّر أن كلًّا منهما عبارة عن جُسَيْم واحد ضخم. وهذا تقريب فج. فحتى حبة الملح تحتوي على نحو مليار مليار جزيء، وهذه فقط حبة ملح واحدة. ولكن مع دوران القمر فإننا لا نكترث في المعتاد بشأن الحركة المترابطة (المتلاطمة) لجزيء أو آخر من جزيئات بحر السكون المغبر[1]. وبينما تنطلق كرة البيسبول، فإننا لا نكترث باهتزاز جزيء أو آخر من جزيئات القلب المصنوع من الفَلّين. فنحن نسعى وراء الحركة الإجمالية للقمر، أو كرة البيسبول. ولهذا الغرض يكفي تطبيق قوانين نيوتن على هذه النماذج المبسطة[5].

هذه النجاحات تبرز التحدّي الذي واجهه فيزيائيو القرن التاسع عشر المهتمون بالمحرّكات البخارية. فالبخار الساخن الذي يضغط على كبّاس (مكبس) المحرك يتألف من عدد هائل من جزيئات الماء، يصل إلى تريليون تريليون جزيء. ولا يسعنا تجاهل هذه البنية الداخلية كما نفعل في تحليلنا للقمر، أو كرة البيسبول. فحركة هذه الجُسَيْمات ذاتها -التي تصطدم بالكبّاس، وترتد عن سطحه، وتضرب جدران الأسطوانة الحاوية، وتعود إلى الكبّاس مجددًا- تقع في قلب آلية عمل المحرك. والمشكلة تتمثّل في أنه لا توجد وسيلة يستطيع بها أي شخص، في أي مكان، مهما كان ذكيًا، ومهما كان الحاسب الذي يستخدمه متقدّمًا، أن يحسب كل هذه المسارات الفردية التي تسلكها هذه المجموعة الضخمة من جزيئات الماء.

هل وصلنا إلى طريق مسدود؟

ربما تظنّ هذا. لكن اتضح أن تغيير المنظور أنقذنا. فالمجموعات الكبيرة من الممكن أحيانًا أن تقدّم تبسيطاتها القوية الخاصّة بها. من الصعب بالتأكيد، بل ومستحيل فعليًا، التنبؤ بدقة بالوقت الذي ستعطس فيه المرة التالية. ومع ذلك فإذا وسّعنا نظرتنا بحيث شملت مجموعة البشر الأكبر الموجودة على كوكب الأرض، فيمكننا التنبؤ بأنه في اللحظة التالية ستقع نحو ثمانية آلاف عطسة على مستوى العالم[6]. المقصد من حديثي هذا هو أنه عن طريق التحوّل إلى منظور إحصائي، يصير عدد السكان الكبير للأرض هو المفتاح -لا العائق- نحو امتلاك القدرة على التنبؤ. فالمجموعات الكبيرة عادة ما تُظهِر أنماطًا إحصائية دورية ومنتظمة لا يمكن تبيّنها على مستوى الفرد.

(1) بحر السكون، Sea of Tranquility، هو أحد بحار القمر الجافة، والمكان الذي هبطت فيه المركبة «إيجل» التابعة لأول مهمة قمرية مأهولة، أبوللو 11 (المترجم).

ثمة نهج مشابه خاص بالمجموعات الكبيرة من الذرات والجُزَيْئات كان من رواده جيمس كلارك ماكسويل وردولف سيلزيوس ولودفيغ بولتزمان وكثيرون من زملائهم. وقد نادى هؤلاء بالتخلي عن التدبر التفصيلي للمسارات المنفردة والتركيز على العبارات الإحصائية التي تصف السلوك المتوسط للمجموعات الكبيرة من الجزيئات. وقد بينوا أن هذا النهج لا يجعل الحسابات أيسر من الناحية الرياضية وحسب، وإنما أوضحوا كذلك أن الخصائص الفيزيائية التي يمكن أن يصفها هذا النهج كمّيًا هي الخصائص الأهم على الإطلاق. فالضغط الواقع على كبّاس المحرّك البخاري، مثلًا، لا يتأثّر البتة تقريبًا بالمسار الدقيق الذي يسلكه جزيء الماء المنفرد هذا أو ذاك. وبدلًا من ذلك فإن الضغط يرتفع نتيجة متوسط حركة تريليونات وتريليونات الجزيئات التي تصطدم بسطحه في كل ثانية. وهذا هو ما يهم. وهذا هو ما أتاح النهج الإحصائي للعلماء حسابه.

في عصرنا الحديث، عصر استطلاعات الرأي السياسية وعلوم الوراثة السكانية والبيانات الضخمة عمومًا، ربما لا يبدو التحوّل نحو إطار عمل إحصائي أمرًا جذريًا. فقد صرنا معتادين على قوة الرؤى الإحصائية المستخلصة من دراسة المجموعات الكبيرة. لكن في القرن التاسع عشر وبدايات القرن العشرين كان التفكير الإحصائي يمثل انشقاقًا عن الدقة الصارمة التي أضحت تميّز الفيزياء. ولنضع في اعتبارنا أيضًا أنه حتى السنوات الأولى من القرن العشرين كان هناك علماء يحظون باحترام بالغ يعارضون وجود الذرّات والجزيئات، التي تعَدّ الأساس الجوهري للنهج الإحصائي.

وبصرف النظر عما يقوله المعترضون، لم يستغرق التفكير الإحصائي وقتًا طويلًا كي يثبت قيمته. ففي العام 1905 قدّم أينشتاين نفسه تفسيرًا كمّيًا للحركة المضطربة لحُبيبات اللقاح المعلقة في كوب من الماء بأن أوضح تعرّضها للتقاذف المتواصل من جانب جزيئات الماء. وبهذا النجاح، كان عليك أن تكون معارضًا شديد التزمّت كي تشكّك في وجود الجزيئات. علاوة على ذلك فإن أرشيفًا متناميًا من الأوراق البحثية النظرية والتجريبية كشف عن أن النتائج المبنية على التحليلات الإحصائية لمجموعات كبيرة من الجُسَيْمات -التي تصف كيف ترتد داخل الأوعية وبذا تبذل ضغطًا على هذا السطح، أو تكتسب تلك الكثافة، أو تهدأ استجابةً إلى درجة الحرارة تلك- تتفق مع البيانات بدقة كبيرة بحيث لا توجد ببساطة مساحة للتشكيك في القوة التفسيرية لهذا النهج. وبهذا وُلد الأساس الإحصائي للعمليات الحرارية.

شكّل هذا انتصارًا عظيمًا ولم يمكن الفيزيائيين من فهم المحركات البخارية فقط، ولكن مكّنهم أيضًا من فهم طيف عريض من المنظومات الحرارية، من الغلاف الجوي

لكوكب الأرض، إلى الهالات الشمسية، إلى مجموعة الجُسَيْمات الهائلة التي تحتشد داخل نجم نيوتروني. لكن كيف يرتبط هذا برؤية راسل للمستقبل، وتنبّوئه بزحف الكون نحو الموت؟ سؤال وجيه. اصبر قليلًا؛ فقد أوشكنا على الإجابة عنه. لكن لا يزال هناك بضع خطوات تفصلنا عن الإجابة. والخطوة التالية هي استخدام أوجه التقدّم هذه في إلقاء الضوء على السمة الجوهرية للمستقبل: وهو أنه يختلف اختلافًا عميقًا عن الماضي.

من هذا إلى ذاك

إن التمييز بين الماضي والمستقبل أمر أساسي ومحوري في الخبرة البشرية. فقد ولدنا في الماضي، وسنموت في المستقبل. وبين هذين الحدثين نشهد عددًا لا حصر له من الوقائع التي تتكشّف على امتداد سلسلة من الحوادث التي ستبدو عبثية لو تدبّرناها بترتيب معكوس. لقد رسم فان جوخ لوحة «ليلة النجوم»، لكن لم يكن باستطاعته بعد ذلك أن يرفع الألوان الملتفة كالدوامة عن طريق تحريك الفرشاة في ضربات عكسية، بحيث يستعيد قماش الكانفاه الأبيض مجدّدًا. واحتكت السفينة تايتانيك بجبل جليدي وانشق جزء من بدنها، لكن لم يكن من الممكن أن تعكس محركاتها، وتعيد تتبع مسارها، وتبطل ما أصابها من تلف. وكل شخص منا ينمو ويشيخ، لكننا لا نستطيع إعادة عقارب ساعاتنا الداخلية إلى الوراء بحيث نستعيد شبابنا.

وفي ضوء كون هذه اللانعاكسية جزءًا محوريًّا من الكيفية التي تتطوّر بها الأشياء، ربما تظن أن باستطاعتنا أن نحدّد بسهولة أصلها الرياضي داخل قوانين الفيزياء. بالطبع من المفترض أن نستطيع الإشارة إلى شيء محدّد داخل المعادلات يضمن أنه على الرغم من قدرة الأشياء على التحول من *هذا* الوضع إلى *ذاك*، فإن الحسابات الرياضية تمنعها من التحوّل من *ذاك* الوضع إلى *هذا*. لكن على مدار مئات الأعوام فشلت المعادلات التي طوّرناها في تقديم أي شيء من هذا النوع. وبدلًا من ذلك، مع خضوع قوانين الفيزياء للتنقيح المتواصل، مرورًا بكل من نيوتن (الميكانيكا الكلاسيكية)، وماكسويل (الكهرومغناطيسية)، وأينشتاين (الفيزياء النسبية)، وعشرات العلماء المسؤولين عن فيزياء الكم، ظلّت سمة واحدة ثابتة: إذ التزمت القوانين تمامًا بعدم اكتراث كامل لما نطلق عليه نحن البشر المستقبل وما نطلق عليه الماضي. ففي ضوء الحالة التي عليها العالم الآن، تعامل المعادلات الرياضية الانتقال نحو المستقبل أو الماضي بالطريقة عينها تمامًا. وبينما يهمنا هذا التمييز، بصورة عميقة، فإن القوانين لا تبالي البتة بهذا الاختلاف، ولا تعتبره يزيد في الأهمية عن إظهار ساعة الملعب الرياضي الزمن

المنقضي من المباراة أو الزمن المتبقي على نهايتها. وهذا يعني أنه إذا سمحت القوانين بوقوع تتابع معيّن من الحوادث، فستسمح القوانين حتمًا للتتابع العكسي بالحدوث كذلك[7].

حين علمت بهذا الأمر للمرة الأولى وأنا طالب، رأيت أنه سخيف أشد السخف. ففي العالم الواقعي لا نرى الغطاسين الأولمبيين وهم يخرجون من مياه المسبح بأقدامهم أولًا، ويرتفعون إلى أن يهبطوا في هدوء على لوح القفز. ولا نرى قطع الزجاج الملون وهي تقفز من الأرضية وتعيد التشكّل على هيئة مصباح ملون مثل ذلك المعروف باسم مصباح تيفاني. إن لقطات الأفلام المعروضة بصورة عكسية مسلية وذلك لأن ما نراه معروضًا يختلف بالكامل عن أي شيء نمرّ به في خبراتنا. ومع ذلك، وفق ما تمليه الرياضيات، فإن الحوادث المعروضة في اللقطات العكسية تتّفق تمام الاتفاق مع قوانين الفيزياء.

لماذا إذًا تتسم خبراتنا بعدم التوازن هذا؟ ولماذا نرى الحوادث وهي تتكشف في اتجاه زمني واحد وليس الاتجاه العكسي مطلقًا؟ جزء محوري من الإجابة تكشفه لنا فكرة *الإنتروبيا*، وهو مفهوم له دور أساسي في فهمنا لسير الحوادث الكونية.

الإنتروبيا: نظرة أولى

الإنتروبيا أحد أكثر المفاهيم إثارة للارتباك في الفيزياء الحديثة، وهذه الحقيقة لم تقلل من الشهية الثقافية إلى الاستعانة بحرية بهذا المفهوم في تفسير مواقف يومية تطوّرت من النظام إلى الفوضى، أو ببساطة من الجيد إلى السيئ. وبحسب الاستخدام الدارج فإن هذا أمر مقبول، وفي بعض الأحيان كنت أستعين بمفهوم الإنتروبيا بهذه الطريقة أيضًا. ولكن نظرًا إلى أن التصور العلمي للإنتروبيا سيرشدنا خلال رحلتنا -ويقع أيضًا في قلب رؤية راسل السوداوية للمستقبل- لنتدبّر معناه بصورة أدق.

ولنبدأ بمثال. تخيل أنك تهز بقوة كيسًا مليئًا بمائة بنس، ثم ألقيت البنسات كلها على طاولة الطعام. إذا وجدت أن كل البنسات استقرّت على وجه الصورة، ستُفاجأ بالتأكيد. لكن لماذا؟ يبدو الأمر بديهيًا، لكنه يستحق التفكير فيه. إن غياب ولو عملة واحدة تستقر على وجه الكتابة يعني أن كل عملة من العملات المعدنية المائة، التي تتقلّب وتتقافز وتتصادم في عشوائية، تعيّن عليها أن تصطدم بالطاولة وأن تستقر على وجه الصورة، كلها. وهذا أمر صعب. فالحصول على نتيجة متفرّدة أمر شديد المشقّة. وعلى سبيل المقارنة، إذا تدبّرنا نتيجة مختلفة اختلافًا بسيطًا، لنقل مثلًا أن تكون لدينا عملة واحدة استقرت على وجه الكتابة (بينما استقرت العملات الـ 99 الأخرى على وجه

الصورة)، فستوجد مائة طريقة مختلفة يمكن أن يحدث بها هذا: فالعملة التي استقرّت على وجه الكتابة من الممكن أن تكون هي العملة الأولى، أو الثانية، أو الثالثة، وهكذا وصولًا إلى العملة المائة. وهكذا فإن الحصول على وجه الصورة 99 مرة أسهل بمائة ضعف -وأكثر ترجيحًا بمائة ضعف- من الحصول على وجه الصورة كل مرة.

لنواصل على هذا المنوال. تكشف بعض الحسابات البسيطة عن أن هناك 4950 طريقة مختلفة يمكن أن نحصل بها على وجه الكتابة مرتين متتاليتين (العملتان الأولى والثانية، أو الأولى والثالثة، أو الثانية والثالثة، أو الأولى والرابعة، وهكذا). وبمزيد من الحسابات نجد أن هناك 161700 طريقة مختلفة للحصول على وجه الكتابة ثلاث مرات، ونحو 4 ملايين طريقة للحصول على وجه الكتابة أربع مرات، ونحو 75 مليون طريقة للحصول عليه خمس مرات. لا تهم تفاصيل الأرقام كثيرًا، بل ما أعنيه هو الاتجاه العام. فكل وجه كتابة إضافي يسمح بمجموعة أكبر بكثير من النتائج الملائمة. أكبر بصورة مهولة. ويصل الرقم إلى ذروته مع 50 وجهًا للكتابة (و50 وجهًا للصورة)، إذ توجد وقتها مائة مليار مليار مليار توليفة محتملة (حسنًا، 100891344545564193334812497256 توليفة)[8]. ومن ثم فإن الحصول على 50 صورة و50 كتابة أكثر ترجيحًا بمائة مليار مليار مرة من الحصول على وجه الصورة فقط في كل المرات.

ولهذا السبب سيكون الحصول على وجه الصورة في كل المرات أمرًا صادمًا.

يعتمد تفسيري على حقيقة أن أكثرنا يحلّل مجموعة البنسات بديهيًا بالطريقة التي دعا بها ماكسويل وبولتزمان إلى تحليل الحاوية البخارية. فمثلما لا يكترث العلماء كثيرًا بتحليل كل جزيء من جزيئات بخار الماء على حدة، فإننا في المعتاد لا نقيِّم أي مجموعة عشوائية من البنسات عملة بعملة على حدة. ونحن لا نكترث البتة بما إذا كان البنس رقم 29 هو الذي استقر على وجه الصورة أو ما إذا كان البنس رقم 71 قد استقر على وجه الكتابة. وبدلًا من ذلك فإننا ننظر إلى المجموعة ككل. والسمة التي تلفت نظرنا هي عدد وجوه الصورة مقارنة بعدد وجوه الكتابة: فهل عدد وجوه الصورة أكثر من الكتابة أم العكس؟ هل أكثر منها بضعفين؟ أم ثلاثة أضعاف؟ أم هل العدد متساوٍ تقريبًا؟ يمكننا رصد التغيرات الكبيرة في نسبة وجوه الصورة إلى الكتابة، غير أن الترتيبات العشوائية التي تحفظ هذه النسبة -مثل قلب العملات رقم 23 و46 و92 من الكتابة إلى الصورة والعملات رقم 17 و52 و81 من الصورة إلى الكتابة- يستحيل التمييز بينها عمليًا. ومن ثم فإنني أقسم النتائج المحتملة إلى مجموعات، كل مجموعة منها تحتوي على ترتيبات العملات التي تبدو متماثلة بدرجة كبيرة، وأحصي أعداد كل مجموعة: حيث أحصيت عدد النتائج التي لا يظهر فيها وجه الكتابة، وعدد النتائج التي

يظهر فيها وجه الكتابة مرة واحدة، وعدد النتائج التي يظهر فيها مرتين، وصولًا إلى عدد النتائج التي يظهر فيها وجه الكتابة 50 مرة.

الإدراك المحوري هنا هو أن هذه المجموعات ليست متساوية من حيث عدد أعضائها. ولا حتى متقاربة. ولهذا السبب كنت في أشد درجات الاندهاش عندما أنتجت هزة عشوائية للبنسات مجموعة ليس فيها وجه الكتابة على الإطلاق (مجموعة فيها عضو واحد فقط)، وأقل اندهاشًا عندما أنتجت الهزة العشوائية وجه الكتابة مرة واحدة (مجموعة فيها 100 عضو)، لكنك ستتثاءب في ملل إذا أنتجت الهزة مجموعة نصفها يستقر على وجه الصورة ونصفها على وجه الكتابة (مجموعة فيها نحو مائة مليار مليار مليار عضو). فكلما زاد عدد أعضاء أي مجموعة زاد احتمال أن تنتمي أي نتيجة عشوائية إلى هذه المجموعة. فحجم المجموعة يهم.

لو كانت هذه المادة جديدة عليك، ربما لا تدرك بعد أننا أوضحنا بالفعل المفهوم الأساسي للإنتروبيا. فالإنتروبيا الخاصة بأي ترتيب معين من البنسات تساوي حجم مجموعتها؛ أي عدد الترتيبات القريبة التي تبدو شديدة الشبه بأي ترتيب مُعطى[9]. ويتسم أي ترتيب بإنتروبيا مرتفعة إذا كان هناك عدد كبير من الترتيبات المشابهة له. بينما يتّسم أي ترتيب بإنتروبيا منخفضة إذا كان هناك عدد قليل من الترتيبات المشابهة له. وفي حالة تساوي كل العوامل الأخرى، من المرجح للهزّة العشوائية أن تنتمي إلى مجموعة ذات إنتروبيا مرتفعة نظرًا إلى أن مثل هذه المجموعات لها أعضاء أكثر.

هذه الصياغة ترتبط أيضًا بالاستخدامات الدارجة للإنتروبيا التي أشرتُ إليها في بداية هذا القسم. فمن البديهي أن تمتلك الترتيبات الفوضوية (فكّر في سطح المكتب الذي تتراكم عليه المستندات والأقلام ودبابيس الورق المبعثرة)، إنتروبيا مرتفعة لأن الترتيبات العديدة الخاصة بالعناصر المكونة تبدو جميعًا متشابهة، وإذا قمت بتغيير ترتيب فوضوي ما فسيظل يبدو بنفس القدر من الفوضوية. أما الترتيبات المنظمة (فكّر في سطح المكتب المنظم الذي توجد عليه المستندات والأقلام ودبابيس الورق في مواضعها المحدّدة)، فله إنتروبيا منخفضة لأن ثمة عددًا قليلًا للغاية من عمليات إعادة ترتيب المكونات سيبدو متشابهًا. وكما في حالة البنسات فإن الإنتروبيا المرتفعة تسود لأن الترتيبات الفوضوية تفوق في العدد الترتيبات المنظمة.

الإنتروبيا: تطبيق عملي

البنسات مفيدة لأنها توضح النهج الذي ابتكره العلماء من أجل التعامل مع المجموعات الكبيرة الحجم من الجُسَيْمات التي تشكّل المنظومات الفيزيائية، سواء

أكانت جزيئات ماء تندفع جيئة وذهابًا داخل محرك بخاري ساخن أم جزيئات هواء تندفع عبر الغرفة التي تتنفس فيها حاليًا. وكما في حالة البنسات فإننا نتجاهل الجُسَيْمات المنفردة -فلا يترتب الكثير على وجود جزيء ماء أو هواء بعينه هنا أو هناك- وبدلًا من ذلك نجمع معًا ترتيبات الجُسَيْمات التي تبدو متماثلة معًا. في حالة البنسات كان المعيار الخاص بالتشابه يعتمد على نسبة وجوه الصورة إلى الكتابة لأننا في المعتاد لا نكترث بترتيب أي عملة منفردة بعينها، ونهتم بصورة عامة بالمظهر الإجمالي للتجميعة وحسب. لكن ماذا نعني بقولنا «تبدو متماثلة بدرجة كبيرة» في حالة مجموعة كبيرة من جزيئات الغاز؟

فكر في الهواء الذي يملأ غرفتك الآن. إذا كنت مثلي، ومثل بقيتنا، فلن تكترث البتة بما إذا كان جزيء الأكسجين هذا يطير عبر النافذة أو ما إذا كان جزيء النيتروجين ذاك يرتد عن الأرضية. فأنت تكترث وحسب بأنك في كل مرة تأخذ شهيقًا يوجد مقدار كافٍ من الهواء يفي باحتياجاتك. حسنًا، هناك سمتان أخريان من المرجَّح أن تهتم بهما أيضًا. فإذا كانت درجة حرارة الهواء مرتفعة بشدّة بحيث احترقت رئتاك، فلن تكون سعيدًا بهذا. أو إذا كان ضغط الهواء شديد الارتفاع (ولم تعادله بواسطة الهواء الموجود بالفعل في قنوات إستاكيوس الموجودة لديك) بحيث انفجرت طبلة أذنك، فلن تكون سعيدًا بهذا أيضًا. وهكذا فإن الأمور التي تهمّك هي حجم الهواء، ودرجة حرارته، وضغطه الجوي. وفي الواقع، هذه هي الخصائص العيانية ذاتها التي يهتم بشأنها الفيزيائيون، منذ زمن ماكسويل وبولتزمان وحتى اليوم.

وهكذا، في حالة أي مجموعة كبيرة من الجزيئات الموجودة داخل حاوية، نقول إن الترتيبات المختلفة «تبدو متماثلة بدرجة كبيرة» إذا كانت تملأ الحيز ذاته، ولها درجة الحرارة عينها، وتمارس الضغط نفسه. وكما في حالة البنسات، فنحن نجمع معًا كل الترتيبات المتشابهة للجزيئات ونقول إن كل عضو في المجموعة يؤدي إلى ظهور نفس الحالة العيانية. وإنتروبيا الحالة العيانية هي عدد الترتيبات المتشابهة هذه. وبفرض أنك لا تشغل دفاية (بحيث تؤثّر على درجة الحرارة)، أو تضع حاجز تقسيم لا يمكن اختراقه (وبذا تؤثّر على الحجم)، أو تضخ المزيد من الأكسجين (ومن ثم تؤثّر على الضغط)، فإن الترتيبات الدائمة التطوّر لجزيئات الهواء المندفعة جيئة وذهابًا داخل الغرفة التي تسكنها الآن تنتمي كلّها إلى المجموعة ذاتها -فكلها تبدو متماثلة بدرجة كبيرة- لأنها تنتج نفس السمات العيانية التي تشعر بها حاليًا.

إن تنظيم الجُسَيْمات في مجموعات متشابهة يوفّر مخططًا قويًّا للغاية. فمثلما يكون من الأرجح أن تنتمي البنسات الملقاة إلى مجموعة ذات عضوية أكبر (أي ذات

إنتروبيا أعلى)، ينطبق الأمر كذلك على الجُسَيْمات المتواثبة عشوائيًا. وهذا الإدراك بسيط ومباشر ولكن له تبعات واسعة المدى: فسواء أكانت الجُسَيْمات المتواثبة داخل محرك بخاري، أو في غرفتك، أو في أي مكان آخر، فعن طريق فهم السمات التقليدية للترتيبات الأكثر شيوعًا (تلك التي تنتمي إلى التجميعات ذات العضوية الأكبر)، يمكننا إصدار تنبوءات بشأن الخواص العيانية للمنظومة، تلك الخواص التي نهتم بها بالدرجة الأكبر. هذه تنبوءات إحصائية، بكل تأكيد، لكنها تتسم بدرجة عالية للغاية من الدقة. والأمر غير المتوقع هو أننا حققنا كل هذا وفي الوقت ذاته تجنبنا التعقيد المستحيل الذي تتسم به عملية تحليل مسارات مجموعة كبيرة جدًّا من الجُسَيْمات.

ومن أجل تنفيذ هذا البرنامج نحن بحاجة إذًا إلى شحذ قدرتنا على تحديد الترتيبات الشائعة (ذات الإنتروبيا المرتفعة) للجُسَيْمات، في مقابل الترتيبات النادرة (ذات الإنتروبيا المنخفضة). ونعني بهذا أنه في ضوء حالة المنظومة الفيزيائية سنكون بحاجة إلى تحديد ما إذا كان هناك الكثير من عمليات إعادة الترتيب للمكونات التي ستترك المنظومة على حالها ذاته تقريبًا أم القليلِ منها. وعلى سبيل المثال، لنتدبّر الحمام المليء بالبخار بعد أن أخذت حمامًا طويلًا ساخنًا فيه. من أجل تحديد إنتروبيا بخار الماء سنحتاج إلى إحصاء عدد ترتيبات الجُسَيْمات -مواضعها المحتملة وسرعاتها المحتملة- التي لها جميعًا نفس الخصائص العيانية، أي لها نفس الحجم ونفس درجة الحرارة ونفس الضغط[10]. إن الإحصاء الرياضي لمجموعة من جزيئات الماء أكثر صعوبة من إحصاء مجموعات البنسات، لكنه شيء تعلّمه جُل دارسي الفيزياء منذ عامهم الجامعي الثاني. ومن الأسهل، والأكثر إيضاحًا أيضًا، حساب الكيفية التي يؤثّر بها الحجم ودرجة الحرارة والضغط كميًّا على الإنتروبيا.

لنتناول الحجم أولًا. تخيل أن جزيئات الماء المتحرّكة بسرعة تجمّعت في إحكام في ركن صغير من أركان حمامك، بحيث شكّلت عُقدة كثيفة من بخار الماء. في هذا الترتيب، ستكون عمليات إعادة الترتيب الممكنة لمواضع الجزيئات قليلة للغاية، فبينما تحرك جزيئات الماء سيتعيّن عليك أن تبقيها داخل العقدة وإلّا سيبدو الشكل المُعدَّل للترتيب مختلفًا. وعلى سبيل المقارنة، عندما يكون بخار الماء موزّعًا بالتساوي في أرجاء الحمام، تكون لعبة الكراسي الموسيقية الجزيئية أقل تقييدًا بكثير. فبإمكانك إحلال الجزيئات الموجودة بالقرب من رفّ الزينة بتلك التي تطفو قرب مصباح الإضاءة، والجزيئات القريبة من ستارة الحمام بتلك التي تطفو قرب النافذة، ومع ذلك فسيظل بخار الماء إجمالًا بنفس الشكل. لاحظ أيضًا أنه كلما كان حمامك أكبر، زاد عدد الأماكن التي ستتاح لك كي تنثر فيها الجزيئات، وهذا يزيد أيضًا من عدد عمليات

إعادة الترتيب المتاحة. والخلاصة، إذًا، هي أن ترتيبات الجزيئات الأصغر والمُجمَّعة في إحكام لها إنتروبيا أقل، بينما الترتيبات الأكبر والمنتشرة بالتساوي لها إنتروبيا أعلى.

بعد ذلك، هناك الحرارة. ما الذي نعنيه بدرجة الحرارة على مستوى الجزيئات؟ الإجابة معروفة جيدًا. فدرجة الحرارة هي متوسط سرعة مجموعة من الجزيئات[11]. ويكون الشيء باردًا عندما يكون متوسط سرعة جزيئاته منخفضًا ويكون ساخنًا عندما يكون متوسط السرعة مرتفعًا. لذا فإن تحديد الكيفية التي تؤثر بها درجة الحرارة على الإنتروبيا يكافئ تحديد الكيفية التي يؤثر بها متوسط سرعة الجزيئات على الإنتروبيا. وكما وجدنا في حالة مواضع الجزيئات، فإن التقييم الكمي في متناولنا. فإذا كانت درجة حرارة بخار الماء منخفضة، ستكون عمليات إعادة الترتيب المسموح بها للسرعات الجزيئية قليلة العدد بالمقارنة: فمن أجل إبقاء درجة الحرارة ثابتة -ومن ثم ضمان أن الترتيبات كلها تبدو متماثلة بدرجة كبيرة- عليك أن تعادل أي زيادة في سرعات بعض الجزيئات بخفض ملائم في سرعات البعض الآخر. غير أن عبء وجود درجة حرارة منخفضة (أي سرعة جزيئية منخفضة)، يتمثل في أنه ليس لديك مساحة كبيرة لخفض السرعات قبل أن ترتطم بالحد الأدنى؛ الصفر. وبهذا فإن النطاق المتاح للسرعات الجزيئية الممكنة ضيق، وبذا تكون قدرتك على إعادة ترتيب السرعات محدودة. وعلى سبيل المقارنة، إذا كانت درجة الحرارة مرتفعة، ستنتعش لعبة الكراسي الموسيقية الجزيئية مجددًا: ففي ظل متوسط الحرارة الأعلى يكون نطاق السرعات الجزيئية -بعضها أكبر من المتوسط، وبعضها أقل- أوسع بكثير، وهو ما يوفّر مساحة أكبر لخلط السرعات مع الحفاظ على المتوسط كما هو. ووجود المزيد من عمليات إعادة الترتيب لسرعات الجزيئات والتي تبدو كلها متماثلة بدرجة ما، يعني أن درجات الحرارة الأعلى تستتبع في العموم وجود إنتروبيا أعلى.

وأخيرًا، هناك الضغط. إن ضغط بخار الماء على جلدك أو على جدران حمامك سببه تأثير جزيئات الماء المتدفّقة التي ترتطم بهذه الأسطح: فكل جزيء يصطدم يبذل دفعة بسيطة، وبذا كلما زاد عدد الجزيئات صار الضغط أعلى. وهكذا فإن الضغط يتحدّد، بالنسبة إلى أي درجة حرارة وحجم معيَّنَيْن، بواسطة العدد الإجمالي لجزيئات بخار الماء في حمامك، وهي كمية يمكن حساب تبعاتها على الإنتروبيا بسهولة شديدة. فوجود جزيئات ماء أقل في حمامك (حين تأخذ حمامًا أقصر) يعني أن عمليات إعادة الترتيب الممكنة أقل، ومن ثم تكون الإنتروبيا أقل، بينما وجود جزيئات ماء أكثر (حين تأخذ حمامًا أطول) يعني أن المزيد من عمليات إعادة الترتيب ممكنًا، ومن ثم تكون الإنتروبيا أعلى.

واختصارًا نقول: إن وجود جزيئات أقل، أو درجة حرارة أقل، أو ملء حيّز أصغر يؤدي إلى إنتروبيا أقل، فيما يؤدي وجود جزيئات أكثر، أو درجة حرارة أعلى، أو ملء حيز أكبر إلى إنتروبيا أعلى.

وانطلاقًا من هذا المسح الموجز، دعني أشدّد على إحدى طرق التفكير في الإنتروبيا، وهي طريقة تفتقر إلى الدقة لكنها توفّر قاعدة مفيدة. حريٌّ بك أن تتوقّع مقابلةَ حالات مرتفعة الإنتروبيا. فنظرًا إلى أن هذه الحالات من الممكن تحقيقها بواسطة عدد كبير مختلف من الترتيبات للجُسَيْمات المكوِّنة، فإنها تكون معتادة، ورائجة، وسهلة التشكل، وزهيدة التكلفة. على النقيض من ذلك، إذا قابلت حالة منخفضة الإنتروبيا ينبغي أن يسترعي ذلك انتباهك. فالإنتروبيا المنخفضة تعني أن هناك طرقًا أقل بكثير يمكن بها تحقيق الحالة العيانية بواسطة مكوّناتها المجهرية، ومن ثم فإن هذه الترتيبات يصعب العثور عليها، فهي غير معتادة، ومرتبة بحرص، ونادرة الوجود. وإذا خرجت من تحت الدش بعد حمام طويل ووجدت بخار الماء منتشرًا في تجانس في أرجاء حمامك، فهذه حالة ذات إنتروبيا مرتفعة ولا تثير الدهشة على الإطلاق. لكن إذا خرجت من تحت الدش بعد حمام طويل ووجدت بخار الماء متجمعًا في مكعب صغير محكم يطفو أمام المرآة، فهذه حالة ذات إنتروبيا منخفضة وغير معتادة إلى حدٍّ بعيد. بل إنها غير معتادة في الحقيقة إلى درجة أنك لو قابلت مثل هذا الترتيب ينبغي عليك أن تتشكّك بشدّة في التفسير الذي يقضي ببساطة بأنك صادفت وحسب واحدًا من تلك الأمور غير المعتادة التي تحدث بين حين وآخر. من *الممكن* أن هذا هو التفسير الفعلي للأمر، لكنني مستعد لأن أراهن بحياتي على أنه ليس كذلك. وتمامًا مثلما ستتشكك في وجود سبب وراء الصدفة المحضة التي أدّت إلى استقرار البنسات المائة على الطاولة على وجه الصورة (كأن يكون شخص ما قد قلب كل عملة استقرت على وجه الكتابة)، فإنك ستسعى إلى تفسير بخلاف الصدفة المحضة لأي ترتيبات منخفضة الإنتروبيا تقابلها.

وهذا المنطق ينطبق حتى على أمور تبدو تافهة، مثل العثور على بيضة أو تل للنمل أو قدح. فالطبيعة المنظمة، المصنوعة بمهارة، والمنخفضة الإنتروبيا لهذه التكوينات تتطلّب تفسيرًا. إن التفسير الذي يقضي بأن الحركة العشوائية للجُسَيْمات الصحيحة وحدها يمكن أن تجتمع على هيئة بيضة أو تل للنمل أو قدح، هذا التفسير من الممكن تصوره، لكنه بعيد الاحتمال تمامًا. وبدلًا من ذلك نحن مدفوعون إلى العثور على تفسيرات أكثر إقناعًا، وبالطبع يجب ألّا نبحث بعيدًا: فالبيضة وتل النمل والقدح كلها ناتجة عن قيام صور خاصة من الحياة بترتيب مجموعة الجزيئات العشوائية في البيئة من أجل إنتاج بِنى مُرتبة. تعد الكيفية التي أنتجت بها الحياة مثل هذا النظام الدقيق

أحد المواضيع التي سنتناولها في فصول لاحقة. أما الآن فالدرس يتمثّل ببساطة في أن التجميعات المنخفضة الإنتروبيا ينبغي أن يُنظَر إليها باعتبارها تشخيصية، باعتبارها دليلًا على وجود تأثيرات قوية مرتِّبة ربما تكون مسؤولة عن النظام الذي قابلناه.

في أواخر القرن التاسع عشر آمن الفيزيائي النمساوي لودفيج بولتزمان، مُسلحًا بهذه الأفكار، وجُلها من ابتكاره، بأنه يستطيع تناول السؤال الذي دشن هذا القسم من مناقشتنا: ما الذي يميّز المستقبل عن الماضي؟ وقد اعتمدت إجابته على خاصية الإنتروبيا التي يعبر عنها القانون الثاني من قوانين الديناميكا الحرارية.

قوانين الديناميكا الحرارية

رغم ما تتمتّع به الإنتروبيا والقانون الثاني للديناميكا الحرارية من إشارات ثقافية عديدة، فإن الاهتمام العام بالقانون الأول للديناميكا الحرارية أقل شيوعًا. ومع ذلك فمن أجل فهم القانون الثاني على نحوٍ وافٍ، من المفيد استيعاب القانون الأول أولًا. ويتبين لنا أن القانون الأول معروف على نطاق واسع هو أيضًا، لكن تحت اسم مختلف؛ فهو قانون حفظ الطاقة، الذي ينص على أن الطاقة التي تكون لديك عند بداية أي عملية ستكون هي نفسها الطاقة التي لديك بنهاية العملية. وعليك أن تكون شديد الدقة عند إحصاء الطاقة، بما في ذلك كل الصور التي من الممكن تحويل مخزون الطاقة المبدئي إليها، مثل الطاقة الحركية (طاقة الحركة)، أو طاقة الوضع (الطاقة الكامنة أو الطاقة المخزَّنة، كما في الزنبرك المشدود)، أو الإشعاع (الطاقة المحمولة بواسطة المجالات، مثل المجال الكهرومغناطيسي أو مجال الجاذبية)، أو الحرارة (الحركة العشوائية التي لا تهدأ للجزيئات والذرات). لكن إذا تتبعت الطاقة بحرص، يضمن لك القانون الأول للديناميكا الحرارية أن ينتهي بك الحال بكشف حساب متوازن للطاقة[12].

يركز القانون الثاني للديناميكا الحرارية على الإنتروبيا، وهو ليس معنيًا بحفظ الطاقة، خلافًا للقانون الأول؛ بل هو قانون للنمو؛ إذ ينص القانون الثاني على أنه بمرور الوقت تنحو الإنتروبيا، بصورة طاغية، إلى الزيادة. وبالتعبير الدارج نقول إن الترتيبات الخاصة تميل إلى التطور نحو الترتيبات ذات الشكل العادي (مثل القميص المكوي الخاص بك الذي يصير متغضنًا ومجعّدًا)، أو أن النظام يميل إلى التردّي نحو العشوائية (كما يتردّى حال مرأبك المنظم بحيث يتحوّل إلى فوضى عشوائية من الأدوات وصناديق التخزين والمعدات الرياضية). وبينما يقدّم هذا الوصف صورة بديهية مقبولة، فإن معادلات بولتزمان الإحصائية للإنتروبيا تمكننا من أن نصف القانون الثاني بدقّة، وأن نحصل على فهم واضح لأسباب صحته، وهو أمر لا يقل في الأهمية.

المسألة تتلخص في لعبة أرقام. فكر مجدّدًا في البنسات. إذا رتبت البنسات بحرص بحيث تستقر كلّها على وجه الصورة، وهو ترتيب منخفض الإنتروبيا، ثم عرَّضتها إلى القليل من الهز والرَّج، لك أن تتوقّع استقرار بضعة بنسات على وجه الكتابة، وهو ترتيب مرتفع الإنتروبيا. وإذا قمت بهزّها أكثر، فثمة احتمال أن تعاود البنسات كلها الاستقرار مجدَّدًا على وجه الصورة، غير أن هذا سيتطلب مقدارًا شديد الدقة من الهز، وتوافقًا مثاليًّا بحيث تُقلَب فقط البنسات القليلة التي استقرت على وجه الكتابة. وهذا أمر بعيد الاحتمال بدرجة عظيمة. ومن الأرجح بصورة غالبة أن يؤدّي الهز بدلًا من ذلك إلى قلب مجموعة عشوائية من البنسات. ربما تعود بعض العملات القليلة التي كانت مستقرّة على وجه الكتابة إلى وجه الصورة، لكن عددًا أكبر بكثير من العملات التي كانت مستقرّة على وجه الصورة سينقلب إلى وجه الكتابة. ويكشف المنطق البسيط والمباشر -من دون حسابات رياضية منمّقة أو أفكار شديدة التجريد- عن أنك إذا بدأت وكل البنسات مستقرة على وجه الصورة، فسيؤدي الهز العشوائي إلى زيادة عدد البنسات التي تستقرّ على وجه الكتابة. أي زيادة في الإنتروبيا.

ستستمر الزيادة في عدد البنسات التي تستقر على وجه الكتابة إلى أن نصل إلى حالة تساوي تقريبية بين البنسات المستقرة على وجه الصورة وتلك المستقرة على وجه الكتابة. وعند هذه النسبة سيتسبّب الهزّ في قلب أعداد متساوية من البنسات من وجه الصورة إلى الكتابة والعكس، ومن ثم ستقضي البنسات جُل وقتها في الانتقال بين المجموعات ذات الأعداد الأكبر، والإنتروبيا الأعلى.

وما ينطبق على البنسات ينطبق بالمثل على مستوى أكثر عمومية. فإذا خبزت رغيفًا من المؤكد أن تملأ الرائحة غرف المنزل البعيدة عن المطبخ. في البداية تتجمّع الجزيئات المتحرّرة من الرغيف المخبوز بالقرب من الفرن. بيد أن هذه الجزيئات ستتشتت تدريجيًّا. وسبب ذلك هو أن هناك طرقًا أكثر بكثير تنتشر بها جزيئات الرائحة مقارنة بالطرق التي تتجمّع بها، وهو تفسير مشابه لذلك الخاص بالبنسات. ومن ثم فمن الأكثر ترجيحًا بصورة طاغية أن تهب الجزيئات، عبر التصادم والاهتزاز العشوائيين، إلى الخارج مقارنة بالتجمع بالداخل. وهكذا فإن الترتيب المنخفض الإنتروبيا الخاص بالجزيئات المتجمعة قرب الفرن يتطوّر بصورة طبيعية إلى حالة مرتفعة الإنتروبيا تنتشر فيها الجزيئات في كل أرجاء منزلك[13].

وبصورة أعمّ نقول إنه إذا لم يكن النظام الفيزيائي في أعلى حالات الإنتروبيا المتاحة بالفعل، فمن المرجح بصورة طاغية أن يتطوّر نحوها. وهذا التفسير، الذي يوضحه مثال الرغيف المخبوز بصورة جيدة، يرتكز على أبسط صور التفكير المنطقي: فنظرًا إلى أن

عدد الترتيبات ذات الإنتروبيا الأعلى أكبر على نحو هائل من الترتيبات ذات الإنتروبيا المنخفضة (وذلك بحكم تعريف الإنتروبيا)، تكون احتمالات أن يؤدي الاهتزاز العشوائي -اهتزاز الذرّات والجزيئات وتصادمها بلا هوادة- إلى دفع النظام نحو الإنتروبيا أعلى، لا أقل، أكبر بكثير. وهذا التقدّم سيتواصل إلى أن نصل إلى ترتيب يتّسم بأعلى درجة إنتروبيا متاحة. ومن تلك النقطة وصاعدًا سيميل الهز إلى دفع المكونات إلى الانتقال (بصورة تقليدية) بين الترتيبات الهائلة العدد ذات أعلى درجات الإنتروبيا[14].

هذا هو القانون الثاني للديناميكا الحرارية. وهذا هو السبب وراء صحته.

الطاقة والإنتروبيا

ربما تقودك هذه المناقشة إلى الظن بأن القانونَين الأول والثاني للديناميكا الحرارية منفصلان بالكامل. فعلى أي حال، يركّز أحدهما على الطاقة وحفظها، بينما يركز الثاني على الإنتروبيا ونموها. لكن هناك رابطًا عميقًا بين القانونين، رابطًا يبرز حقيقة يقتضيها القانون الثاني سنعود إليها بصورة متكرّرة، وهي أن كل الطاقة تنشأ متساوية.

تدبر، على سبيل المثال، إصبع الديناميت. نظرًا إلى أن كل الطاقة المخزنة في الديناميت محتواه في حزمة كيميائية محكَمة ومكتنزة ومنتظمة يكون من السهل السيطرة على الطاقة. ضع الديناميت في أي مكان تريد إفراغ طاقته فيه وأشعل الفتيل. هذا كل ما في الأمر. بعد الانفجار ستظل طاقة الديناميت موجودة كلّها. هذا هو التطبيق العملي للقانون الأول. لكن نظرًا إلى أن طاقة الديناميت تم تحويلها إلى الحركة السريعة والفوضوية لجُسَيْمات واسعة الانتشار، تصير السيطرة على الطاقة أمرًا شديد الصعوبة الآن. لذا، على الرغم من أن المقدار الكلي للطاقة لا يتغير، فإن طبيعتها تتغير.

قبل الانفجار، نقول إن طاقة الديناميت ذات جودة مرتفعة: فهي مركزة ويسهل الوصول إليها. أما بعد الانفجار فنقول إن الطاقة ذات جودة منخفضة: فهي منتشرة ويصعب استخدامها. وبما أن الديناميت المتفجر يطيع القانون الثاني تمامًا، بحيث ينتقل من النظام إلى الفوضى -من الإنتروبيا المنخفضة إلى الإنتروبيا المرتفعة- فإننا نربط الإنتروبيا المنخفضة بالطاقة ذات الجودة المرتفعة، والإنتروبيا المرتفعة بالطاقة ذات الجودة المنخفضة. نعم، أعلم. هنا كثير من الارتفاعات والانخفاضات التي يصعب تتبعها. لكن النتيجة النهائية واضحة: فبينما ينص القانون الأول للديناميكا الحرارية على أن كمية الطاقة تظل محفوظة بمرور الزمن، ينص القانون الثاني على أن جودة الطاقة تتدهور بمرور الزمن.

لماذا إذًا يختلف المستقبل عن الماضي؟ الإجابة واضحة الآن من واقع ما رأيناه،

وهي أن الطاقة التي تحرّك المستقبل ذات جودة أقل من تلك التي حرّكت الماضي. فالمستقبل ذو إنتروبيا أعلى من الماضي.

أو على الأقل هذا ما افترضه بولتزمان.

بولتزمان والانفجار العظيم

بالتأكيد اكتشف بولتزمان شيئًا مهمًا. لكن ثمة توضيحًا مهمًا بخصوص القانون الثاني استغرقت تبعاته، إحقاقًا للحق، بعض الوقت حتى مع بولتزمان كي تظهر بصورة كاملة.

إن القانون الثاني ليس قانونًا بالمعنى التقليدي للكلمة. فالقانون الثاني لا يمنع الإنتروبيا من الانخفاض بصورة قاطعة، بل كل ما في الأمر أنه ينصّ على أن هذا الانخفاض أمر مستبعَد. ومقارنة بالترتيب الوحيد الذي تستقر فيه كل البنسات على وجه الصورة، من الأرجح بمائة مليار مليار مليار مرة أن يؤدّي الهز العشوائي إلى ترتيب يستقر فيه 50 بنسًا على وجه الصورة و50 على وجه الكتابة. وإذا قمت بهز هذا الترتيب ذي الإنتروبيا المرتفعة مجدّدًا، فلن يكون الحصول على ترتيب منخفض الإنتروبيا تستقر فيه كل البنسات على وجه الصورة محظورًا، لكن نظرًا إلى أن هذا الاحتمال بعيد للغاية، فإنه لا يحدث في الواقع العملي.

وبالنسبة إلى أي نظام فيزيائي عادي يزيد عدد مكوناته عن المائة، تصير الاحتمالات المقابلة لانخفاض الإنتروبيا أشد وطأة. فبينما يُخبَز رغيف الخبز فإنه يطلق مليارات ومليارات الجزيئات. والترتيبات التي تنتشر فيها الجزيئات في أرجاء منزلك أكثر عددًا بكثير من تلك التي تعاود فيها التجمع والاتجاه نحو الفرن. بإمكان الجزيئات، خلال الاهتزاز والتصادم العشوائيين، أن ترجع من حيث أتت، وتجد سبيلها إلى الرغيف، ثم تُبطِل عملية الطهو بالكامل، وتترك كتلة من العجين البارد النيء. بيد أن احتمالات حدوث ذلك أقرب إلى الصفر من احتمال رش بعض الألوان على قماش الكانفاه وظهور نسخة طبق الأصل من الموناليزا. لكن المقصود هنا هو أنه حتى إذا حدثت مثل هذه العملية العاكسة للإنتروبيا، فإن هذا لن يُعَدَ خرقًا لقوانين الفيزياء. فقوانين الفيزياء تسمح بالفعل للإنتروبيا بالانخفاض، وإن كان هذا أمرًا بعيد الاحتمال تمامًا.

لا تفهمني خطأً. فأنا لا أقول هذا كي أقترح أننا قد نعكس عملية الخَبز ذات يوم أو نشاهد سيارة وهي تعود إلى حالتها الطبيعية بعد حادث تصادم، أو ورقة تعود إلى حالتها الطبيعية بعد الاحتراق. بدلًا من ذلك، فأنا أؤكد على نقطة مهمّة من حيث المبدأ. أوضحت سابقًا أن قوانين الفيزياء تنظر إلى المستقبل والماضي بنفس الطريقة. وهكذا

تضمن القوانين أن العمليات الفيزيائية التي تتكشف في تسلسل زمني واحد من الممكن أن تحدث بشكل عكسي. ونظرًا إلى أن تلك القوانين نفسها تحكم كل شيء، بما في ذلك العمليات الفيزيائية المسؤولة عن كيفية تغير الإنتروبيا بمرور الوقت، فسيكون من الغريب حقًّا، والخطأ حقًّا، أن نجد أن هذه القوانين تسمح فقط بزيادة الإنتروبيا. وهي لا تفعل هذا. فكل العمليات التي تزيد الإنتروبيا والتي مررت بها يومًا بعد يوم طوال حياتك -بدءًا من الحوادث العادية مثل تحطّم الزجاج إلى الحوادث العميقة مثل شيخوخة الجسد- من الممكن أن تسير في الاتجاه المعاكس. ومن الممكن أن تنخفض الإنتروبيا. كل ما في الأمر أن هذا بعيد الاحتمال إلى حدٍّ عبثي.

أين يتركنا هذا إذًا في سعينا إلى تفسير سبب اختلاف المستقبل عن الماضي؟ حسنًا، في حالة أي ترتيب موجود اليوم في حالة أقل من حالة الإنتروبيا القصوى، يبين القانون الثاني أن المستقبل سيختلف على الأرجح بصورة طاغية وذلك لأن من الأرجح أن تزيد الإنتروبيا بصورة طاغية. فترتيبات المادة الأقل من حالة الإنتروبيا الممكنة القصوى تسعى من دون كللٍ نحو الوصول إلى حالة أعلى من الإنتروبيا. وفي ضوء هذه الملحوظة، يستكين بعضُ مَن يستكشفون الاختلاف بين الماضي والمستقبل، ظنًا منهم أن عملهم قد اكتمل.

بيد أن العمل لم يكتمل. ومن المهم بنفس الدرجة أن نفسر كيف نجد أنفسنا اليوم في مثل هذه الحالة الخاصة وغير المرجحة والمفاجئة، الأقل من حالة الإنتروبيا القصوى؛ في كونٍ عامرٍ بالبنى المنظّمة، من الكواكب والنجوم إلى الطواويس والبشر. ولو لم يكن الحال كذلك، ولو كان الترتيب الموجود اليوم هو تلك الحالة الطبيعية المتوقّعة وغير المفاجئة من الإنتروبيا القصوى، حينئذٍ من المرجح أن يستمر الكون على هذه الحالة، من دون أن يختلف المستقبل عن الماضي. ومثل كيس مليء بالبنسات التي تتخبّط بين عدد هائل من الترتيبات باحتمالية استقرار 50 بنسًا على وجه الصورة و50 على وجه الكتابة، من شأن الكون أن يهيم عبر مشهد الترتيبات ذات الإنتروبيا القصوى؛ بحيث يكون عبارة عن جُسَيْمات مشتتة على نطاق واسع تندفع في هذا الاتجاه وذاك عبر الفضاء، في نسخة كونية من حمامنا المملوء ببخار الماء الموزّع في تجانس[15]. لكن لحسن حظنا فإن حالتنا اليوم، الأقل من حالة الإنتروبيا القصوى، أكثر إثارة للاهتمام بكثير. فهي تقدّم فرصة للجُسَيْمات كي تتّحد داخل بِنى، وفرصة لحدوث التغيُّر العياني. وهذا يقودنا إلى التساؤل: كيف تحققت حالة اليوم التي تقل عن حالة الإنتروبيا القصوى؟

إذا اتّبعنا القانون الثاني بإخلاص، سنخلص إلى أن حالة اليوم مُستمدة من حالة

الأمس ذات الإنتروبيا الأقل. وتلك الحالة، كما نتصوّر، مُستمدة من حالة اليوم السابق عليها التي تتسم بإنتروبيا أقل، وهكذا دواليك، بحيث يكون لدينا سلسلة من الحالات المنخفضة الإنتروبيا باطراد تدفعنا عبر الزمن الماضي إلى أن نصل في النهاية إلى الانفجار العظيم. وتعد نقطة البداية ذات التنظيم الشديد والإنتروبيا المنخفضة للغاية عند الانفجار العظيم هي سبب عدم اتسام كوننا اليوم بالقدر الأقصى من الإنتروبيا، وهو ما يتيح مستقبلًا عامرًا بالحوادث يختلف عن الماضي.

هل يمكننا العودة بدرجة أكبر من أجل تفسير لماذا كانت بداية الكون تتسم بهذا التنظيم الهائل؟ سنعود إلى هذا السؤال في الفصل القادم، حيث سنستكشف بعض النظريات المتعلّقة بعلم الكونيات. أما الآن فنذكر أن بقاءنا يتطلّب نظامًا، من تنظيمنا الجزيئي الداخلي الذي يدعم ثروة من الوظائف الداعمة للحياة، إلى الأدوات المصنوعة بحرَفية والمواطن البيئية الضرورية من أجل بقائنا المتواصل. فمن دون بيئة مليئة ببنى منتظمة ومنخفضة الإنتروبيا، ما كنا نحن البشر لنوجد هنا كي نلاحظ كل ذلك.

الحرارة والإنتروبيا

بدأتُ هذا الفصل برثاء برتراند راسل للكون المعرَّض للتدهور الحتمي المتواصل. ومع القانون الثاني الذي ينص على زيادة الإنتروبيا حصلنا على لمحة عما ألهم راسل هذه النبوءة الكابوسية. فكر في الإنتروبيا المرتفعة باعتبارها ارتفاعًا في درجة العشوائية وعدم الانتظام وستكون بهذا قد حصلت على فكرة عامة عنها. لكن كي نقدّر على نحو وافٍ التحديات المستقبلية التي ستواجه الحياة والعقل والمادة –وهو الموضوع الذي سنستكشفه على نحو مستفيض في الفصول اللاحقة– نحتاج إلى إرساء العلاقة بين الوصف الحديث للقانون الثاني للديناميكا الحرارية الذي أوضحته والصياغة الأصلية التي جرى تطويرها في منتصف القرن التاسع عشر.

في تلك النسخة المبكرة، كان القانون يعبِّر عما كان بديهيًّا لأي شخص يعمل مع المحركات البخارية: وهو أن عملية حرق الوقود من أجل تشغيل أي ماكينة ستنتج على الدوام حرارةً وهدرًا؛ أي ستنتج انحلالًا. ومع ذلك، نظرًا إلى أن النسخة المبكرة لم تورد أي ذكر لإحصاء تجميعات الجُسَيْمات ولم تستخدم التفكير الإحصائي قط، ربما تبدو بعيدة كل البُعد عن التعبير الإحصائي لنمو الإنتروبيا الذي عكفنا على تطويره. لكن ثمة علاقة عميقة ومباشرة بين الصيغتين، وهي علاقة تكشف لماذا يعد تحويل المحرك البخاري للطاقة ذات الجودة العالية إلى حرارة ذات جودة منخفضة نموذجًا قويًّا على الانحلال الذي يحدث في كل مكان في أرجاء الكون.

سأفسّر الصلة في خطوتين. أولًا، دعونا ننظر إلى العلاقة بين الإنتروبيا والحرارة. وبعد ذلك سنربط، في القسم التالي، بين الحرارة والتعبير الإحصائي للقانون الثاني.

إذا أمسكت يد مقلاة طهو ستشعر وكأن الحرارة تتدفق إلى يدك. لكن هل يتدفّق شيء حقًّا؟ في وقت ما من الماضي ظنَّ العلماء أن الإجابة نعم؛ إذ تخيّلوا وجود مادة شبيهة بالسائل، تُدعى «السيال الحراري»، من شأنها أن تتدفّق من المواضع الساخنة إلى تلك الأبرد منها مثلما يتدفق النهر من المنبع إلى المصب. ومع الوقت قدَّم الفهم الأدق لمكونات المادة وصفًا مختلفًا. فعندما تمسك يد المقلاة فإن الجزيئات السريعة الحركة داخلها تتصادم مع الجُسَيْمات ذات الحركة الأبطأ في يدك، وهو ما يسبب زيادة سرعة الجُسَيْمات الموجودة في يدك بصورة عامة وانخفاض سرعة جُسَيْمات يد المقلاة. وأنت تشعر بالسرعة الزائدة للجزيئات في يدك على أنها دفء، وبأن درجة حرارة يدك قد زادت. وبالمثل، الجزيئات الأبطأ سرعة في يد المقلاة تعني أن درجة حرارتها قد انخفضت. ما يتدفق، إذًا، ليس بمادة. فجزيئات يد المقلاة تظل داخل يد المقلاة، وجزيئات يدك تظل في يدك. وبدلًا من ذلك فإن الاهتزاز الجزيئي يتدفّق من جزيئات يد المقلاة إلى جزيئات يدك حين تمسك بها، على نحو يشبه كثيرًا تدفّق المعلومات من شخص إلى آخر خلال لعبة الهاتف. وهكذا، رغم أن المادة نفسها لا تتدفّق من يد المقلاة إلى يدك، فإن جودة المادة –متوسط سرعتها الجزيئية– تتدفق. وهذا ما نعنيه بتدفّق الحرارة.

ينطبق الوصف عينه على الإنتروبيا. فعندما ترتفع درجة حرارة يدك، تتحرك جزيئاتها بصورة أسرع، ويصير نطاق سرعاتها المحتملة أعرض –وهو ما يزيد عدد الترتيبات التي يمكن الحصول عليها وتبدو متماثلة بدرجة كبيرة– وهكذا فإن إنتروبيا يدك ترتفع أيضًا. وبالمثل، عندما تنخفض درجة حرارة يد المقلاة، فإن نطاق سرعاتها المحتملة يضيق –وهو ما يقلل عدد الترتيبات التي يمكن الحصول عليها وتبدو متماثلة بدرجة كبيرة– وهكذا فإن إنتروبيا يد المقلاة تنخفض.

عجبًا. الإنتروبيا تنخفض؟

نعم. بيد أن هذا الأمر ليس له علاقة بالإخفاقات الإحصائية النادرة مثل إلقاء كيس من البنسات واستقرارها كلها على وجه الصورة، كما أوضحنا في القسم السابق. فإنتروبيا يد المقلاة ستنخفض في كل مرة تمسكها بها. لكن النقطة البسيطة والمحورية التي تبينها المقلاة هي أن ما يحتّمه القانون الثاني من زيادة في الإنتروبيا ينطبق على الإنتروبيا الكلّية لنظام فيزيائي كامل، وهو ما سيتضمّن بالضرورة كل شيء يتفاعل معه النظام. ونظرًا إلى أن يدك تتفاعل مع يد المقلاة، فلن يمكنك تطبيق القانون الثاني

على يد المقلاة وحدها. بل سيتعيّن عليك تضمين كلٍّ من يد المقلاة، ويدك (وبدقة أكثر، المقلاة كلّها والموقد والهواء المحيط وما إلى ذلك). ويبين الإحصاء الدقيق أن ارتفاع الإنتروبيا في يدك يفوق انخفاضها في يد المقلاة، وهو ما يضمن ارتفاع الإنتروبيا الإجمالية حقًّا.

وهكذا، كما في حالة الحرارة، يمكن أن تتدفّق الإنتروبيا بصورة ما. بالنسبة إلى المقلاة، تتدفّق الإنتروبيا من يد المقلاة إلى يدك، فتصير يد المقلاة أكثر ترتيبًا بقليل وتصير يدك أقل ترتيبًا بقليل. ومجددًا نقول إن التدفق لا يحدث على صورة مادة ملموسة كانت موجودة في البداية في يد المقلاة وانتقلت الآن إلى يدك. بل يشير تدفّق الإنتروبيا إلى وجود تفاعل بين جزيئات يد المقلاة وجزيئات يدك وهذا التفاعل يؤثر على خصائص كلٍّ منهما. وفي هذه الحالة، يغير التفاعل سرعاتهما النسبية -ودرجة حرارة كل منهما- وهذا بالتبعية يؤثّر على مقدار الإنتروبيا في كل منهما.

كما يوضح الوصف السابق فإن تدفّق الحرارة وتدفّق الإنتروبيا مرتبطان عن كثب. فامتصاص الحرارة يعني امتصاص الطاقة التي تحملها الحركة الجزيئية العشوائية. وتلك الطاقة، بدورها، تدفع الجزيئات المتلقّية إلى الحركة بسرعة أكبر، أو الانتشار على نطاق أوسع، وهو ما يسهم في زيادة الإنتروبيا. والنتيجة النهائية، إذًا، هي أنه من أجل نقل الإنتروبيا من هذا المكان إلى ذاك، ثمة حاجة إلى تدفّق الحرارة من هذا المكان إلى ذاك. وعندما تتدفّق الحرارة من هنا إلى هناك، تنتقل الإنتروبيا من هنا إلى هناك. واختصارًا نقول إن الإنتروبيا تركب موجة الحرارة المتدفقة.

في ضوء هذا الفهم للعلاقة بين الحرارة والإنتروبيا، دعونا الآن نعود مجدّدًا إلى القانون الثاني.

الحرارة والقانون الثاني للديناميكا الحرارية

إن تفسير سبب شعورنا بالحوادث وهي تسير في اتجاه واحد وليس العكس جلبنا إلى بولتزمان وإلى نسخته الإحصائية من القانون الثاني؛ الذي يقضي بأن الإنتروبيا من المرجح بصورة طاغية أن تزداد في اتجاه المستقبل، ما يجعل التسلسلات العكسية (التي تنخفض فيها الإنتروبيا) بعيدة الاحتمال للغاية. كيف يرتبط هذا بالصياغة السابقة للقانون الثاني، المستوحاة من المحرك البخاري، والتي صيغَت بدلالة الإنتاج المتواصل للحرارة المُهدرة من جانب المنظومات الفيزيائية؟

تكمن الصلة في أن نقطتي البداية -الانعكاسية والمحركات البخارية- مرتبطان ارتباطًا وثيقًا. وسبب ذلك هو أن المحرّك البخاري يعتمد على عملية دورية: فالكبّاس

يُدفَع إلى الأمام بواسطة بخار الماء المتمدّد ثم يعود إلى وضعه الأصلي، حيث ينتظر الدفعة التالية. البخار أيضًا يعود إلى حجمه ودرجة حرارته وضغطه الأصليين، وهو ما ينطبق بالضرورة على الأجزاء الأساسي للمحرّك كلّها، وهو ما يهيّئ المحرك للتسخين مجدّدًا ودفع الكبّاس مرة أخرى. وبينما لا يتطلب أيٌّ من هذا العملية بعيدة الاحتمال إلى حد السخف المتمثلة في رجوع كل جزيء إلى موضعه السابق تمامًا أو اكتساب السرعة نفسها كما كان في بداية الدورة السابقة، فإنه يتطلّب أن يعود الترتيب الإجمالي -الحالة العيانية للمحرك- إلى الهيئة نفسها كي يدشّن كل دورة لاحقة.

ما الذي يعنيه هذا بالنسبة إلى الإنتروبيا؟ حسنًا، نظرًا إلى أن الإنتروبيا عبارة عن إحصاء للترتيبات المتناهية الصغر التي تقدّم الحالات العيانية نفسها، فإذا أُعيد ضبط الحالة العيانية للمحرك عند بداية كل دورة جديدة، فمن الحتمي أن يُعاد ضبط الإنتروبيا الخاصّة بها كذلك. وهذا يعني أن الإنتروبيا التي يكتسبها المحرك البخاري خلال أي دورة (بينما يمتصّ الحرارة من الوقود المحترق، وبينما يولّد حرارة إضافية عبر احتكاك أجزائه المتحرّكة، وما إلى ذلك من عمليات)، يجب أن تُطرَد كلّها إلى البيئة الخارجية مع انتهاء الدورة. كيف يحقّق المحرك البخاري هذا؟ حسنًا، رأينا أنه من أجل نقل الإنتروبيا يجب نقل الحرارة. ومن ثم، كي يعيد المحرك البخاري ضبط نفسه من أجل الدورة التالية، يتعين عليه *إطلاق الطاقة إلى البيئة*. وهذا هو التصريح التاريخي للقانون الثاني للديناميكا الحرارية، فالطرد الحتمي للحرارة المُهدرَة إلى البيئة -وهو الانحلال ذاته الذي أثار اغتمام راسل- صار الآن نابعًا من النسخة الإحصائية للقانون الثاني[16].

هذه هي الوجهة التي كنت أقصدها، لذا لك مطلق الحرية في الانتقال إلى القسم التالي. لكن إذا كنت تتحلّى بالصبر، فهناك تفصيلة أخيرة سيكون من التقاعس ألّا أذكرها. ربما تتساءل: إذا كان المحرك البخاري يمتص الحرارة من الوقود المحترق (وبذا يمتص الإنتروبيا) فقط لكي يطلق الحرارة إلى البيئة (وبذا يطلق الإنتروبيا)، فكيف يمتلك أي طاقة باقية كي يحقّق مهمته المفيدة، مثل تزويد قاطرة السكك الحديدية بالطاقة؟ الإجابة هي أن المحرك البخاري يطلق من الطاقة قدرًا أقل مما يمتص، ومع ذلك يظلّ قادرًا على نفث الإنتروبيا التي راكمها. وإليك الكيفية التي يحدث بها ذلك:

يمتص المحرك البخاري الطاقة والإنتروبيا من الوقود المحترق ويطلق الحرارة والإنتروبيا إلى البيئة الأبرد منه. وفارق درجة الحرارة بين الوقود والبيئة هو الأمر المحوري هنا. ولمعرفة السبب، تخيل أنك قمت بتشغيل مدفأتين متطابقتين، واحدة في غرفة قارصة البرودة والأخرى في غرفة حارة. في الغرفة الباردة، تتسبب المدفأة في هز الجزيئات الباردة للهواء، جاعلةً إياها تتحرك بسرعة أكبر وتنتشر على نطاق أوسع،

ومن ثم تزداد الإنتروبيا الخاصة بها بقدر كبير. أما في الغرفة الحارة، فجزيئات الهواء تتحرك بسرعة أصلًا وتنتشر على نطاق واسع، ومن ثم فإن المدفأة لا تزيد الإنتروبيا الخاصة بها ألّا قليلًا. (الأمر يشبه بصورة ما رفع صوت الإيقاع في حفل صاخب في مدينة نيويورك، ثم ملاحظة أن المحتفلين لا يرقصون بصورة أسرع إلّا قليلًا، لكن إذا رفعت صوت الإيقاع في دير ثيكسي، ودفعت الرهبان إلى التوقف عن تأملاتهم والبدء في الرقص، فستلحظ الفارق بسرعة.) وهكذا على الرغم من أن كلتا المدفأتين متطابقتان، فإن الإنتروبيا التي تنقلها كلٌّ منهما إلى البيئة المحيطة مختلفة: ففي حين تولد كل منهما المقدار ذاته من الحرارة، إلّا أن المدفأة الموجودة في الغرفة الأبرد تنقل مزيدًا من الإنتروبيا. وبذا فإن البيئة الأبرد تضخّم أي مقدار من الحرارة تتلقاه على صورة زيادة أكبر في الإنتروبيا. وفي ضوء هذا الإدراك، نرى أن المحرك البخاري يستطيع تفريغ كل الإنتروبيا التي يكتسبها من الوقود الأشد حرارة عن طريق طرد جزء فقط من تلك الحرارة إلى البيئة الأبرد. أما الحرارة المتبقية فتكون حينها متاحة من أجل دفع البخار إلى التمدد، ودفع الكباس، وإنجاز الشغل المفيد.

هذا هو التفسير، لكن لا تدع التفاصيل تحجب النتيجة الأكبر التي توصّلنا إليها: وهي أنه بمرور الزمن، من الأرجح بنسبة هائلة أن تتطوّر المنظومات الفيزيائية من الترتيبات ذات الإنتروبيا المنخفضة إلى ترتيبات ذات إنتروبيا أعلى. ومثل المحرك البخاري، إذا سعت أي منظومة إلى الحفاظ على سلامة بنيتها، سيتعين عليها درء الدافع الطبيعي نحو زيادة الإنتروبيا عن طريق نقل الإنتروبيا التي تتراكم بها إلى البيئة المحيطة. ولعمل ذلك، يجب أن يطلق المحرك حرارة مُهدرة إلى البيئة.

رقصة الإنتروبيا الثنائية

إذا أمعنت التفكير في الخطوات التي سرنا عليها، سترى أنه على الرغم من أن المحرك البخاري كان حاضرًا خلالها جميعًا، فإن النتائج التي توصّلنا إليها تسمو فوق نقطة البداية التي تعود إلى القرن الثامن عشر هذه. فجوهر تحليلنا هو التفسير الدقيق للإنتروبيا، وهذا التفسير يمكن تنفيذه في أي سياق. وهذا إدراك محوري؛ لأن الإنتروبيا المنقولة من المحرك البخاري إلى البيئة المحيطة عبر إطلاق الطاقة ما هي إلّا صورة من صور عملية موجودة في كل مكان سنقابلها ونحن نتتبع سير الحوادث الكونية. أسمّي هذه العملية *رقصة الإنتروبيا الثنائية*، وأعني بها أي عملية تقلّ فيها إنتروبيا أي منظومة نتيجة نقلها كمية أكبر من الكمية المكافئة من الإنتروبيا إلى البيئة. وهذه الرقصة الثنائية تضمن أنه على الرغم من أن الإنتروبيا ربما تنخفض في موضع ما، فإنها سترتفع في

موضع آخر، وهو ما يضمن وجود الزيادة الإجمالية في الإنتروبيا التي نتوقعها بموجب القانون الثاني.

وتقع رقصة الإنتروبيا الثنائية في قلب الكيفية التي يمكن بها لكون يتجه صوب العشوائية دائمة الزيادة أن ينتج ويدعم، رغم ذلك، بِنًى مثل النجوم والكواكب والبشر. وثمة موضوع سنقابله تكرارًا يتمثّل في أنه عندما تتدفّق الطاقة عبر منظومة ما -مثلما تتدفّق الطاقة الآتية من الفحم المحترق عبر البخار، بحيث تسبب الشغل، ثم تخرج إلى البيئة المحيطة- فإنها تحمل معها الإنتروبيا بعيدًا ومن الممكن بالتبعية أن تدعم النظام أو حتى تنتجه.

ورقصة الإنتروبيا هذه هي التي ستوجّه ظهور الحياة والعقل، علاوة على غالبية الأشياء التي تُعدها العقول ذات أهمية.

أنت محرك بخاري

في ضوء أهمية إعادة ضبط الإنتروبيا كلما أكمل المحرك البخاري دورة واحدة، ربما تتساءل عما سيحدث إذا فشلت عملية إعادة ضبط الإنتروبيا. هذا مكافئ لعدم طرد المحرك البخاري أي حرارة مُهدرة، وبذا في كل دورة سيصير المحرّك أكثر سخونة إلى أن يسخن أكثر مما ينبغي ويتعطّل. إذا عانى المحرك البخاري من هذا المصير، ربما يكون هذا أمرًا مزعجًا، لكن، بافتراض عدم وقوع إصابات، من غير المرجح أن يدفع أي شخص إلى أزمة وجودية. ومع ذلك فإن نفس العمليات الفيزيائية تلعب دورًا محوريًّا في ما إذا كان باستطاعة الحياة والعقل البقاء إلى زمن بعيد بلا نهاية في المستقبل. والسبب هو أن ما ينطبق على المحرك البخاري ينطبق عليك بالمثل.

أنت لا تعد نفسك على الأرجح محركًا بخاريًّا، أو ربما حتى آلة فيزيائية. أنا أيضًا نادرًا ما أستخدم هذه المصطلحات في وصف نفسي. لكن فكر في الأمر: إن حياتك تتضمّن عمليات لا تقل دورانًا عن تلك الخاصّة بالمحرّك البخاري. يومًا بعد يوم يحرق جسمك الطعام الذي تأكله والهواء الذي تتنفّسه من أجل توفير الطاقة للعمليات الداخلية والنشاطات الداخلية. وحتى فعل التفكير ذاته -الحركة الجزيئية التي تحدث داخل دماغك- يستمد قوته من هذه العمليات القائمة على مبدأ حفظ الطاقة. وهكذا، وعلى نحو شبيه بالمحرك البخاري، لن يمكنك البقاء من دون إعادة ضبط الإنتروبيا لديك عن طريق التخلص من الحرارة الفائضة إلى البيئة. وهذا ما نفعله في الواقع. هذا ما نفعله كلنا طوال الوقت. ولهذا السبب، مثلًا، فإن نظارات الرؤية العسكرية التي تعمل بالأشعة تحت الحمراء، والمصمَّمة بهدف «رؤية» الحرارة التي نطردها بصورة متواصلة، تساعد الجنود كثيرًا في تحديد موقع الخصوم ليلًا.

يمكننا الآن أن نقدّر بشكل أوفى نظرة راسل في ما يخصّ تصور المستقبل. فنحن جميعًا نخوض حربًا لا هوادة فيها من أجل مقاومة التراكم المتواصل للمخلفات والهدر؛ ارتفاع الإنتروبيا الذي يستحيل إيقافه. ولكي نظلّ على قيد الحياة، يجب أن تمتص البيئة المحيطة كل الطاقة المُهدرة، أي كل الإنتروبيا، التي نولّدها وتحملها بعيدًا. وهذا يثير سؤالًا: هل البيئة -التي نعني بها الآن الكون القابل للرصد كله- تعَد بمنزلة حفرة لا قاع لها مخصّصة لامتصاص مثل هذا الهدر؟ وهل باستطاعة الحياة أن ترقص رقصة الإنتروبيا الثنائية إلى ما لا نهاية؟ أم ربما يأتي وقت يصل فيه الكون إلى حد التخمة ومن ثم يعجز عن امتصاص الطاقة المُهدرة التي تولّدها الأنشطة نفسها التي تحدّد هويتنا، وهو ما يؤدي إلى فناء الحياة والعقل؟ وبحسب صياغة راسل المُقبِضة، فهل من الصحيح أن «كل أعمال العصور، كل الإخلاص، كل الإلهام، كل السطوع الزائل للعبقرية البشرية، محكوم عليها بالفناء في الموت الشاسع للمجموعة الشمسية، وأن ذلك المعبد الكامل لإنجازات الإنسان يجب حتمًا أن يُحرَق تحت حطام الكون المتداعي»؟[17].

هذه بعض الأسئلة المحورية التي سنستكشفها في الفصول التالية. لكننا تسرّعنا قليلًا. وقبل أن نناقش الحياة والعقل، دعونا نفهم الكيفية التي تسهم بها الإنتروبيا والقانون الثاني في تشكيل البيئة الضرورية من أجل ترسيخ الحياة والعقل.

ولتحقيق ذلك، سنعود إلى الحديث عن الانفجار العظيم.

الفصل الثالث

البدايات والإنتروبيا

من الخَلق إلى البنية

عندما تسمح الرياضيات للعلماء بالنظر إلى الوراء عبر الزمن، وصولًا إلى ما بعد البداية المرجّحة للكون بكسر من الثانية، فإن القرب من النطاق الديني التقليدي يوحي إلى البعض بأن ثمة تحالفًا أو رابطًا عميقًا ما، أو صراعًا متأصّلًا، يجب الكشف عنه. ولهذا السبب أتلقى استفسارات حول رأيي عن وجود خالق بنفس المُعدل تقريبًا الذي أُسأل به عن العلم. وفي الواقع، كثيرًا ما ترتبط الأسئلة بين الأمرين. سيكون لدينا وقت وفير لتدبّر مثل هذه الأمور في فصول لاحقة، أما في هذا الفصل فسنستكشف نقطة اتصال واحدة، أثارتها نهاية الفصل السابق، وهي ضرورية من أجل قصتنا الأكبر، وهذه النقطة هي: إذا كان القانون الثاني للديناميكا الحرارية يثقل كاهل الكون بزيادة لا هوادة فيها في العشوائية، فكيف يمكن للطبيعة أن تنتج بسهولة بِنًى شديدة التنظيم والإحكام الدقيق، من الذرات والجزيئات إلى النجوم والمجرّات، إلى الحياة والعقل؟ وإذا كان الكون قد بدأ بانفجار عظيم، فكيف أدى هذا الحدث الناري إلى نشأة كل صور التنظيم؛ من الأذرع الدوّارة لمجرة درب التبانة إلى المشاهد الطبيعية الخلابة على الأرض، إلى الصلات المعقّدة والطيّات المتغضّنة للدماغ البشري، إلى الفن والموسيقى والشعر والأدب والعلم الذي تنتجه هذه الأدمغة؟

ثمة استجابة جرى الاعتماد عليها على مر العصور لمواجهة النسخة المصغرة من هذه الأسئلة محل الاهتمام، وتقضي بأن النظام تم انتزاعه من رحم الفوضى بواسطة كيان أسمى. وتتوافق الخبرة البشرية مع هذا التحول المُستوحى من مفهوم التجسيم. فعلى أي حال، الكثير من النظام الذي نقابله في حياتنا اليومية في الحضارة الحديثة هو بالفعل صنيعة الذكاء. غير أن التأويل الملائم للقانون الثاني يجعل المصمم الذكي غير ضروري. ورغم أن الأمر مفاجئ ومدهش في الوقت ذاته، فإن المناطق التي تحوي طاقةً ونظامًا مُرَكزَيْن (النجوم هي النموذج الأصلي) ما هي إلّا نتيجة طبيعية لاتصال الكون الدؤوب بالقانون الثاني بحيث يصير *أقل تنظيمًا* على نحو مطّرد. وفي الواقع،

تثبت جيوب النظام هذه أنها محفِّزات تسهل تحقيق الكون، على المدى البعيد، لقدراته الإنتروبية الكامنة. وعلى مَرّ الطريق، وكجزء من هذا التقدم الإنتروبي، فإنها تسهل أيضًا ظهور الحياة.

ومن أجل استكشاف الرقصة بين النظام والعشوائية التي تُمارَس على امتداد التاريخ الكوني، سنبدأ من البداية.

رسم ملامح الانفجار العظيم

في منتصف عشرينيات القرن العشرين، استخدم القس اليسوعي جورج لومِتر وصف أينشتاين الحديث وقتها للجاذبية -النظرية النسبية العامة- لتطوير الفكرة الثورية التي تقضي بأن الكون بدأ بانفجار، وأنه ما برح يتمدّد منذ ذلك الحين. لم يكن لومتر مُنَظِّرًا بعيدًا عن المجال، بل كان حاصلًا على درجة الدكتوراه من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، وكان من بين أوائل العلماء الذين طبّقوا معادلات النسبية العامة على الكون ككل. كان حدس أينشتاين، الذي قاده بنجاح خلال عقد رائع من الاكتشافات في طبيعة المكان والزمن والمادة، يقضي بأن الأشياء الموجودة *داخل* الكون لها بداية، ووسط، ونهاية، ولكن الكون نفسه كان وسيظلّ دائمًا على الحال ذاته. وعندما اقترح تحليل لومتر لمعادلات أينشتاين خلاف ذلك، رفضه أينشتاين، قائلًا للباحث الشاب: «حساباتك صحيحة، لكن فيزياءك بغيضة»[1]. كان أينشتاين يشدّد على أنه يمكنك أن تكون بارعًا في معالجة المعادلات ومع ذلك تفتقر إلى الذوق العلمي الجيد لتحديد أي من هذه المعالجات الرياضية تعكس الواقع.

بعد بضع سنوات، أجرى أينشتاين أحد أشهر التحولات العلمية. فقد كشفت المشاهدات التفصيلية التي أجراها عالِم الفلك إدوين هابل، العامل في مرصد ماونت ويلسون، أن المجَرّات البعيدة كلها تتحرك. وأنها جميعًا آخذة في الابتعاد عنا. ويتفق نمط حركتها -الذي وفقه كلما ابتعدت المجرة، زادت سرعتها- مع الناتج الرياضي لمعادلات النسبية العامة. وفي ضوء دعم البيانات الحالي لفيزياء لومتر البغيضة، اعتنق أينشتاين بكل إخلاص مفهوم الكون الذي له بداية[2].

وخلال القرن التالي على حسابات لومتر المبتكرة، جرى تطوير التنظير الكوني الذي بدأه، جنبًا إلى جنب مع العمل المستقل من قبل الفيزيائي الروسي ألكسندر فريدمان، وجُمعَت مجموعة من الأدلة الرصدية من التيليسكوبات الأرضية والفضائية. وإليكم السرد الكوني الحديث الذي نتج عن كل هذا: منذ نحو أربعة عشر مليار عام، كان الكون القابل للرصد -كل ما يمكننا رؤيته باستخدام أقوى التيليسكوبات التي

يمكن تخيلها- بأكمله منضغطًا في كتلة صلبة ساخنة للغاية وكثيفة بشكل لا يُصدَّق، ثم تمدّدت هذه الكتلة بسرعة. وبينما كانت الجُسَيْمات تبرد مع انتفاخ الكون، تباطأت حركتها المحمومة تدريجيًا وتجمعت في كتل، وهذه الكتل شكلت بمرور الوقت النجوم والكواكب وجميع أنواع الحطام الغازي والصخري المنتشر عبر الفضاء، وشكلتنا نحن أيضًا.

هذه هي القصة، في عبارتين. والآن دعونا نصقلها. ولنتدبر كيف ينتج الكون، من دون قصد أو تصميم، ومن دون تفكير أو حُكم، ومن دون تخطيط أو مداولة، تكوينات مرتبة بدقة من الجُسَيْمات، من الذرات إلى النجوم إلى الحياة. ودعونا نفهم كيف يتّفق ظهور مثل هذه البنى المنظمة مع ما يمليه القانون الثاني من زيادة الإنتروبيا من دون هوادة. ولنشاهد رقصة الإنتروبيا الثنائية التي تؤَدَّى الآن على خشبة المسرح الكونية.

وتحقيقًا لهذه الغاية، سوف نحتاج إلى فهم عدة تفاصيل كونية مختلفة بشكل أوفى. أولًا: ما الذي دفع الكتلة البدائية إلى البدء في التمدّد في المقام الأول؟ أو، بلغة فضفاضة، ما الذي أشعل فتيل الانفجار العظيم؟

الجاذبية الطاردة

تكثُر المتضادات، لأن خبراتنا الحياتية عامرة بالتضاد. وللفيزياء أيضًا نصيبها: النظام والاضطراب، المادة والمادة المضادة، الشحنتان الموجبة والسالبة. ولكن منذ زمن نيوتن، بدا أن قوة الجاذبية تنأى بنفسها بعيدًا عن هذا النمط العام. فخلافًا للقوة الكهرومغناطيسية، التي يمكن أن تدفع أو تسحب، بدت الجاذبية قوة جاذبة فقط. ووفقًا لنيوتن، تمارس الجاذبية شَدًّا بين الأجسام، سواء الجُسَيْمات أو الكواكب، وبذلك تجمعها معًا، ولكن ليس العكس أبدًا. وفي غياب مبدأ يتطلّب التناظر في كل أعمال الطبيعة، كان جُل من فكروا بعمق في الجاذبية ينظرون إلى شخصيتها ذات الاتجاه الواحد على أنها صفة جوهرية يجب قبولها ببساطة. لكن أينشتاين غيَّر هذا، ووفقًا للنظرية العامة للنسبية، يمكن لقوة الجاذبية أن تكون طاردة. لم يتنبأ نيوتن بالجاذبية الطاردة، ولم تشعر بها أنت ولا أنا من قبل. لكن الجاذبية الطاردة تفعل ما يوحي به الاسم؛ فبدلًا من الشد إلى الداخل، فإنها تدفع إلى الخارج. ووفقًا لمعادلات أينشتاين، فإن الأجسام الضخمة ذات الكتلة الكبيرة مثل النجوم والكواكب تمارس النسخة الجاذبة المعتادة من الجاذبية، ولكن هناك مواقف غريبة يمكن أن تؤدّي فيها قوة الجاذبية إلى المباعدة بين الأشياء.

وفي حين أن قدرة قوة الجاذبية على التنافر كانت معروفة لأينشتاين، بالإضافة إلى

عدد من العلماء اللاحقين الذين عملوا على النظرية النسبية العامة، فقد استغرق اكتشاف أعمق تطبيق لها أكثر من نصف قرن. أدرك آلان جوث، زميل ما بعد الدكتوراه الشاب الذي يدرس الانفجار العظيم، أن الجاذبية الطاردة قد تحلّ لغزًا كونيًا محيّرًا. تكشف المشاهدات أن الفضاء يتمدّد، وتتوافق معادلات أينشتاين معها، بيد أن المعادلات بقيت صامتة حول ماهية القوة التي أدت، قبل مليارات الأعوام، إلى بدء التمدد. وأدت تحليلات جوث الرياضية التفصيلية، التي بلغت ذروتها بنوبة حسابية في وقت متأخر من الليل في ديسمبر 1979، إلى إقناع المعادلات بالحديث.

أدرك جوث أنه إذا امتلأت منطقة من الفضاء بمادة من نوع معين، أود أن أسمّيها «الوقود الكوني»، وإذا كانت الطاقة الموجودة في الوقود الكوني منتشرة بالتساوي في جميع أنحاء المنطقة -ولم تتكتل على صورة نجم أو كوكب- فعندئذ ستكون قوة الجاذبية الناتجة عنها طاردة. بتعبير أدقّ، كشفت حسابات جوث أنه إذا امتلأت منطقة صغيرة، ربما يبلغ حجمها جزءًا من مليار من المليار جزء من المتر، بمجال طاقة من نوع معين (يُسمى مجال التضخم، *inflaton field*، الذي يغيب عنه حرف الـ i كطريقة مقصودة وغير تقليدية للتسمية)، وإذا كانت الطاقة موزعة في تجانس، مثل البخار الذي تكون كثافته متشابهة في جميع أنحاء الساونا، فستكون قوة الجاذبية الطاردة قوية جدًا إلى درجة أن من شأن بقعة ضئيلة من الفضاء أن تنتفخ بشكل متفجّر، وتتمدّد على الفور تقريبًا إلى حجم يناهز حجم الكون القابل للرصد، إن لم يكن أكبر بكثير. وبهذه الصورة من شأن الجاذبية الطاردة أن تزوّد الانفجار بالطاقة. في هذه الحالة الانفجار العظيم[3].

في أوائل الثمانينيات، تسلم الفيزيائي السوفيتي أندريه لينده والثنائي الأمريكي بول شتاينهاردت وأندرياس ألبرشت الراية من جوث وباشروا تطوير المفهوم، حيث طوروا أول نُسَخ قابلة للتطبيق بالكامل من علم *الكونيات التضخمي*. وفي العقود التي تلت ذلك، ألهمت هذه الأعمال المبكرة آلاف الصفحات من الحسابات الرياضية المعقّدة، والعديد من عمليات المحاكاة الحاسوبية التفصيلية، ما ملأ المجلات في جميع أنحاء العالم بالتفسيرات والتنبوءات القائمة على افتراض وجود ماضٍ تضخّمي. وقد تم الآن تأكيد العديد من هذه التنبوءات بفضل القياسات الفلكية الدقيقَة المُضنية. وعلى الرغم من أنني لن أقودك في جولة كاملة بين المشاهدات التي تؤكد صحة علم الكونيات التضخّمي، وهو أمر يحظى بتغطية وافية في العديد من المقالات والكتب، فسأصف نجاحًا واحدًا يعتبره العديد من الفيزيائيين الأكثر إقناعًا على الإطلاق. وهي أيضًا السمة التي سنحتاجها للخطوة التالية في الكشف الكوني: تكوُّن النجوم والمجرات.

الوهج اللاحق

بينما أخذ الكون المبكر يتمدّد بسرعة، انتشرت حرارته الحارقة على امتداد حيز دائم الاتساع، وقلّت شدتها وبردت على نحو مطرد[4]. ومنذ أربعينيات القرن العشرين، قبل تطوير نظرية التضخم بوقت طويل، أدرك الفيزيائيون أن الحرارة البدائية، التي تضاءلت بفعل التمدّد المكاني بحيث صارت عبارة عن وهج خافت، من المفترض أنها لا تزال تملأ الكون. وقد سُمّي هذا الوهج «الوهج اللاحق على الخَلْق» (أو، بالمصطلحات الفنية، «إشعاع الخلفية الميكروني الكوني»)، ورُصد للمرة الأولى في ستينيات القرن العشرين على يد الباحثَيْن في مختبرات بِل، أرنو بنزياس وروبرت ويلسون، اللذين التقط هوائي الاتصالات المتقدّم الخاص بهما، دون قصد، إشعاعًا منتشرًا يتخلل الفضاء، تبلغ حرارته 2,7 درجة فقط فوق الصفر المطلق. إذا كنت موجودًا في الستينيات، فربما تكون قد رأيت هذا الإشعاع أيضًا. فجزء من الشوشرة الاستاتيكية التي تظهر عند ضبط أجهزة التلفاز القديمة على قناة اختتمت بثها في المساء يُعزى إلى هذا الأثر المتبقي للانفجار العظيم.

ينقّح علم الكونيات التضخّمي التنبؤ المتعلّق بالوهج اللاحق عن طريق الأخذ في الاعتبار ميكانيكا الكم، وهي القوانين التي تم تطويرها في العقود الأولى من القرن العشرين لوصف العمليات الفيزيائية الدائرة في العالم الفائق الصغر. ونظرًا إلى أننا نركز على الكون بأكمله، وهو شيء كبير، قد تعتقد بأن انشغال فيزياء الكم بالأشياء الفائقة الصغر سيجعلها غير ذات صلة. ولولا علم الكونيات التضخّمي لكان حدسك صائبًا. ولكن مثلما يكشف تمدّد قطعة من الألياف اللدنة النمط المعقد لغرزها، فإن اتساع الفضاء نتيجة دفعة من التمدّد التضخّمي يكشف عن سمات كمية تكون محصورة عادةً داخل نطاق العالم الفائق الصغر. فالتمدّد التضخّمي يصل، في جوهره، إلى العالم الفائق الصغر ويبرز السمات الكمية بصورة واضحة.

إن التأثير الكمي الأكثر أهمية هو ذلك الذي أوجد انفصالًا لا يمكن دحضه عن التقليد الكلاسيكي: *مبدأ عدم اليقين الميكانيكي الكمي*. اكْتُشف مبدأ عدم اليقين على يد الفيزيائي الألماني فيرنر هايزنبرج في العام 1927، ويُظهِر أن هناك سِمات للعالم -مثل موضع الجُسَيْم وسرعته- يمكن لفيزيائي كلاسيكي يسير على خطى إسحاق نيوتن أن يصرّ على أنه يمكن تحديدها بيقين كامل، بينما الفيزيائي الكمي يدرك أنها مُثقلة بالغموض الكمّي الذي يجعلها غير مؤكدة. يبدو الأمر كما لو أن التقليد الكلاسيكي نظر إلى العالم من خلال نظارات نقية مصقولة أبرزت جميع السمات الفيزيائية بوضوح تام، في حين أن النظارات التي يرتديها المنظور الكمي تتسم بالضبابية بطبيعتها. في

عالم الحياة اليومية الواسع الخاص بالخبرة المشتركة، يكون الضباب الكَمّي رقيقًا جدًّا بحيث لا يؤثر على رؤيتنا، لذا لا يمكن التميز بين المنظورين الكلاسيكي والكمي. ولكن كلما سبرنا العالم على نطاق أصغر، أضحت العدسات الكمية أشد ضبابية وظهر المشهد أكثر إبهامًا.

قد تشير هذه الاستعارة إلى أن كل ما نحتاج إليه هو تنظيف العدسات الكمية. غير أن مبدأ عدم اليقين أثبت أنه بصرف النظر عن مدى تدقيقنا وعن المعدات المتقدّمة التي نستخدمها، سيوجد دائمًا قدر ضئيل من الضبابية التي لا يمكن محوها. وفي الواقع، إن صياغتي تفضح انحيازنا إلى الخبرة البشرية. ففقط بالمقارنة مع وجهة النظر الكلاسيكية الخاطئة بوضوح -تلك النظرة التي اكتشفناها نحن البشر أولًا لأنها أبسط وأدق بصورة استثنائية على النطاقات المتاحة للحواس البشرية- تبدو الحقيقة الكمية ضبابية. أما حقيقة الأمر فهي أن المنظور الكلاسيكي هو الذي يقدّم نظرة تقريبية ومن ثم غير دقيقة للواقع الكمّي الحقيقي.

لا أعرف لماذا تحكم قوانين الكم الواقع. ولا أحد يعرف. وقد أكّد قرن من التجارب صحة عدد هائل من تنبوءات ميكانيكا الكم، ولهذا السبب يعتنق العلماء هذه النظرية. ومع ذلك، تظلّ معظم ميكانيكا الكم غريبة بالكامل بالنسبة إلى معظمنا نظرًا إلى أن سماتها المميزة تظهر على مسافات صغيرة جدًا إلى درجة أننا لا نشعر بها في الحياة اليومية. وإذا فعلنا ذلك، لجرى تشكيل الحدس المشترك على نحو مباشر بواسطة العمليات الكمية، ولكانت فيزياء الكم بمنزلة طبيعة ثانية لنا. ومثلما تعرف تبعات الفيزياء النيوتونية بصورة بدهية -إذ يمكنك الإمساك بسرعة بكأس ساقط، مُستنتجًا على الفور مساره النيوتوني- ستعرف فيزياء الكم بصورة بدهية مماثلة. ولكن نظرًا إلى عدم وجود مثل هذا الحدس الكمي، فإننا نعتمد على التجارب والرياضيات في تشكيل فهمنا من خلال تصوير جوانب من الواقع لا يمكننا أن نشعر بها على نحو مباشر. يتعلّق المثال الأكثر خضوعًا للنقاش على نطاق واسع، والذي سبق ذكره، بسلوك الجُسَيْمات، حيث نتعلّم تعديل المسارات الواضحة المتأصّلة في الفيزياء الكلاسيكية عن طريق إضافة طبقة من الحركة المتقطّعة المستمرة التي يُمليها عدم اليقين الكمي. فبينما ينتقل جُسَيْم ما من هذا الموضع إلى ذاك، يمكن للفيزيائي الكلاسيكي أن يرسم مساره باستخدام ريشة حبر مدببة، في حين سيغمس الفيزيائي الكمي أصبعه في الحبر الرطب، ويلطخ المسار[5]. لكن ميكانيكا الكم لها أهمية تتجاوز بكثير حركة الجُسَيْمات الفردية. وبالنسبة إلى علم الكونيات، يكون لمبدأ عدم اليقين الكمي تأثيرٌ حاسم على مجال التضخم الذي يغذي التمدّد السريع للفضاء. وعلى الرغم من أنني وصفتُ قيمة

التضخم بأنها موحّدة، بحيث يأخذ التضخم القيمة عينها في جميع المواقع داخل رقعة الفضاء المتضخّمة، فإن عدم اليقين الكمي يخيم على هذه الصورة. فعدم اليقين يضفي التذبذبات الكمية على التجانس الكلاسيكي، مما يجعل قيمة المجال، ومن ثَم طاقته، أعلى قليلًا في هذا الموضع وأقل قليلًا في ذاك.

عندما يتسبّب التمدّد التضخمي في بسط هذه التفاوتات الكمية الدقيقة في الطاقة بسرعة، فإنها تنتشر عبر الفضاء مما يجعل درجة الحرارة أعلى بفارق طفيف في هذا الموضع، وأقل بفارق طفيف في ذاك. لكن ليس بنسبة كبيرة. وقد أظهرت التحليلات الرياضية، التي أجراها الفيزيائيون لأول مرة في الثمانينيات، أن درجات حرارة البقع الساخنة والباردة ستتفاوت بمقدار جزء واحد في المائة ألف. لكن التحليلات الرياضية تشير أيضًا إلى أن التفاوتات الضئيلة في درجات الحرارة ستكون مرئية إذا كنت تعرف كيفية البحث عنها. وكشفت الحسابات أن التذبذبات الكمية الممتدة تؤدّي إلى نمطٍ مميزٍ من تفاوتات درجة الحرارة عبر الفضاء، وهي أشبه ببصمة كونية متاحة للطب الشرعي الفلكي. وفي الواقع، منذ أوائل التسعينات أكدت سلسلة من التيليسكوبات الموضوعة في موضع أعلى من التشوّهات التي يسببها الغلاف الجوي للأرض النمطَ المتوقّع لتفاوتات درجات الحرارة بدقّة أكبر من أي وقت مضى.

خذ لحظة لاستيعاب هذا الأمر. يصف الفيزيائيون اللحظات الأولى للكون باستخدام معادلات أينشتاين، التي تم تحديثها بحيث تتضمن مجال الطاقة الافتراضي الذي يملأ الفضاء لجوث، والخاضعة لعدم اليقين الكمي الذي تعلمناه من هايزنبرج. وبعد ذلك تكشف التحليلات الرياضية للانفجار التضخمي أنه من المفترض أن يكون قد ترك بصمة لا تُمحى، أحفورة خلق في شكل نمط محدّد من التفاوتات الدقيقة في درجات الحرارة عبر سماء الليل. والآن، فإنّ موازين الحرارة المتطوّرة الفضائية التي تم بناؤها بعد أربعة عشر مليار عام تقريبًا على يد نوع بلغ للتو سن الرشد العلمي في مجرة درب التبانة، رصدت هذا النمط بدقة.

إنه نجاح مذهل، يوضح مرة أخرى القدرة الخارقة للرياضيات على اختزال أنماط الطبيعة. ولكن سيكون من قبيل المبالغة أن نخلص إلى أن المشاهدات تثبت حدوث انفجار تضخمي متمدّد. فعند التركيز على الحوادث الكونية التي حدثت قبل مليارات الأعوام، على نطاق طاقة أصغر على الأرجح بملايين المليارات من المرات من تلك التي يمكننا دراستها في المختبر، فإن أفضل ما يمكننا القيام به هو تجميع الملاحظات والحسابات معًا لبناء الثقة في تفسيراتنا. وإذا كان الانفجار التضخّمي هو الطريقة الوحيدة لفهم البيانات الكونية، فإن ثقتنا ستقترب من حد اليقين. ولكن على مر السنين

طوّر علماء واسعو الخيال مناهج بديلة (سنقابل أحدها في الفصل العاشر). وفي ضوء كل ما قيل، أرى، ويشاركني في هذا الرأي العديد من الباحثين، أنه في حين أننا بحاجة إلى الانفتاح على الأفكار الجديدة التي تتحدّى وجهات النظر السائدة، فإن حجة علم الكونيات التضخمي التي تم تطويرها على مدى الأربعين عامًا الماضية دامغة[6]. وهكذا، خلال رحلتنا من هذه النقطة وصاعدًا، سنقتفي، بصورة عامة، ذلك المسار التضخمي.

وفي ضوء هذا التقييم، لنتدبر الآن كيفية تفاعل البداية التضخمية مع نزوع القانون الثاني نحو الاضطراب المتزايد.

الانفجار العظيم والقانون الثاني

على الرغم من انقضاء قرون من التقدّم العلمي فإننا لسنا أقرب إلى الإجابة عن السؤال الذي طرحه غوتفريد لايبنتس -«لماذا يوجد شيء بدلًا من لا شيء؟»- مما كنا عليه عندما عبّر الفيلسوف الألماني للمرة الأولى عن هذا التلخيص المحكَم للغز الوجود. لا يعني ذلك أن الناس لم يقترحوا أفكارًا إبداعية ونظريات مثيرة للفكر. ولكن عند طرح سؤال عن البداية المُطلقة، فإننا نسعى إلى إجابة لا تتطلب أي سابقة، إجابة لا تُحيل السؤال خطوة إلى الوراء، إجابة محصّنة ضد أسئلة المتابعة مثل: «لماذا كانت الأمور على *هذا* الحال بدلًا من *ذاك*؟»، أو «لماذا هذه القوانين وليس *تلك*؟». ولم يحقق أي تفسير مقترح حتى الآن هذا، أو حتى اقترب منه.

بالتأكيد لم يفعل الإطار التضخمي هذا. فالتضخّم يتطلب قائمة من المكونات تتضمّن المكان، والزمن، والوقود الكوني الذي يقود التوسع (مجال التضخم)، بالإضافة إلى الكيان الكامل لميكانيكا الكم والنسبية العامة، اللتين تعتمدان بنفسيهما على الرياضيات المأخوذة من حساب التفاضل والتكامل متعدد المتغيرات، والجبر الخطي إلى الهندسة التفاضلية. لا يوجد مبدأ معروف يُفرِد هذه القوانين الفيزيائية الخاصة، التي يتم التعبير عنها باستخدام هذه التركيبات الرياضية الخاصة، باعتبارها نقطة الانطلاق الحتمية لتفسير الكون. وبدلًا من ذلك نستخدم، نحن الفيزيائيون، الملاحظة والتجربة، جنبًا إلى جنب مع الحسّ الرياضي البديهي الذي يصعب وصفه، لتوجيهنا نحو قوانين فيزيائية معينة. وبعد ذلك نقوم بتحليل القوانين الرياضية لتحديد الظروف البيئية في اللحظات الأولى للكون، إن وجدت، التي كان من شأنها أن تطلق شرارة التمدد السريع للفضاء. وعندما نكتشف، لحسن حظنا، أن هناك وجودًا لظروف كهذه، فإننا نفترض أنها ظلت قائمة بالقرب من الانفجار العظيم، ونستخدم المعادلات لتحديد ما حدث لاحقًا.

هذا هو أفضل ما يمكننا فعله حاليًا. وهو ليس بالأمر الهيّن. فحقيقة أن بمقدورنا استخدام الرياضيات لوصف ما نعتقد أنه حدث منذ ما يقرب من أربعة عشر مليار عام، ثم نتنبأ من ذلك بنجاح بما ينبغي أن تراه التيليسكوبات القوية الآن، حسنًا، إنها حقيقة مثيرة للانبهار. يوجد بالتأكيد أسئلة عديدة عميقة، مثل ما/ أو مَنْ الذي خلق المكان والزمن، وما/ أو مَنْ الذي فرض الإطار العام الموجِّه للرياضيات، وما/ أو مَنْ المسؤول عن وجود أي شيء من الأساس. ولكن حتى إذا تركنا كل هذه الأسئلة من دون إجابة، فقد اكتسبنا رؤية قوية للتبصّر في الحوادث الكونية.

وأنوي هنا استخدام هذه البصيرة لفهم كيف أن كونًا ذا إنتروبيا دائمة الزيادة، محكومًا عليه بالاضطراب المتعاظم دائمًا، يخلق ثروة من النظام على طول الطريق. ولنبدأ، واضعين هذا الهدف نُصب أعيننا، بأبسط المشاهدات، التي ألمحنا إليها في الفصل السابق. فإذا كانت الإنتروبيا تتزايد بثبات منذ الانفجار العظيم، فمن المؤكد أن الإنتروبيا عند الانفجار كانت أقل بكثير مما هي عليه اليوم[7].

ما الذي نستنتجه من هذا؟

حسنًا، لقد أصبحتَ معتادًا الآن على عدم الاكتراث برؤية أي ترتيبات ذات إنتروبيا مرتفعة؛ سواء أكانت عملات معدنية مرتبة في مزيج عشوائي من الصور والكتابة، أو البخار الذي يملأ حمامك في تجانس، أو الروائح المنتشرة في أنحاء منزلك. فالترتيبات المرتفعة الإنتروبيا متوقّعة، وشائعة، وعادية. ولكن عند مواجهة ترتيب منخفض الإنتروبيا، تدرك أن رد فعلك يجب أن يكون مختلفًا. فالترتيب ذو الإنتروبيا المنخفضة شيء خاص، غير عادي، ويدعو إلى تفسير لكيفية ظهور مثل هذه الحالة المنظمة.

تسبب هذا المنطق، عند تطبيقه على الكون المبكر، في قدر غير يسير من عدم الارتياح، العلمي والفلسفي. فبأي قوة أو عملية اكتسب الكون المبكر إنتروبيا منخفضة؟ إن كومة المائة بنس المستقرّة كلّها على وجه الصورة تتسم بإنتروبيا منخفضة ولكنها مع ذلك تقر بوجود تفسير فوري؛ فبدلًا من إلقاء العملات على الطاولة، قام أحدهم بترتيبها بعناية. ولكن ما/ أو مَنْ الذي رتّب التكوين المنخفض الإنتروبيا الخاص بالكون المبكر؟ لا يمكن للعلم أن يقدّم إجابة من دون نظرية كاملة عن الأصول الكونية. وفي الواقع، على الرغم من أن هذا السؤال أرّق مضجعي (حرفيًا) في كثير من الليالي، إلّا أن العلم لا يمكنه بعد تحديد ما إذا كان هذا الأمر يمثل مشكلة تستحق القلق بشأنها من الأساس. فالافتقار إلى فهم سبب وجود شيء ما بدلًا من لا شيء يكافئ الافتقار إلى وسائل الحكم على مدى الغرابة أو العادية التي يتسم بها ذلك الشيء في الواقع. ويتطلّب

تقييم ما إذا كانت الظروف التفصيلية في الكون المبكر لا تستحق الاكتراث أم تستدعي الاهتمام الشديد تحديد العملية التي تم بها تعيين هذه الظروف.

وفق أحد السيناريوات التي تدبَّرها علماء الكونيات فإن الكون المبكر كان بيئة محمومة وفوضوية، ونتيجة لذلك تفاوتت قيمة مجال التضخم عبر الفضاء تفاوتًا كبيرًا، على نحو يشبه إلى حدٍّ ما سطح الماء المغلي. ولتوليد الجاذبية الطاردة والتسبب في الانفجار، نحتاج إلى منطقة صغيرة من الفضاء تكون فيها قيمة التضخم متجانسة (أو قريبة من ذلك بدرجة كبيرة، مع الأخذ في الاعتبار الاهتزازات الكمية). بيد أن العثور على مثل هذه المنطقة المتجانسة وسط التموجات الفوضوية سيكون أشبه بغلي وعاء من الماء وإيجاد منطقة على سطحه المضطرب مستوية بصورة مفاجئة. لم ترَ ذلك يحدث قط. ليس لأنه مستحيل ولكن لأنه بعيد الاحتمال إلى درجة غير عادية. وسبب ذلك أن اتسام منطقة من المياه التي تغلي في عشوائية داخل الوعاء بنفس الارتفاع في نفس اللحظة بحيث تنتج ترتيبًا مسطحًا ومنظمًا ومتجانسًا ومنخفض الإنتروبيا، سيتطلّب مصادفة مذهلة. وبالمثل، فإن اكتساب مجال التضخّم الشديد التموج قيمة موحّدة داخل منطقة صغيرة من الفضاء، ومن ثم إشعال فتيل التمدد التضخمي، كان من شأنه أن يتطلّب مصادفة مذهلة أيضًا. وفي غياب تفسير لكيفية ظهور هذا الترتيب الخاص والمنظم وذي الإنتروبيا المنخفضة، يشعر الفيزيائيون بعدم الارتياح الشديد[8].

يعتمد بعض الباحثين، التماسًا منهم لتخفيف هذا الانزعاج، على ملاحظة بسيطة: إذا انتظرت طويلًا بما يكفي، حتى أبعد الأشياء احتمالًا ستقع. هز مائة بنس لفترة طويلة بما يكفي وفي النهاية ستستقر كلها على وجه الصورة. سيكون من الحكمة ألّا تحبس أنفاسك انتظارًا لهذه النتيجة، لكنها ستحدث. وبالمثل، يمكننا القول إنه في بيئة فوضوية تتقلّب فيها قيمة التضخم بشكل كبير، عاجلًا أم آجلًا -عن طريق الصدفة المحضة- ستكون هناك منطقة صغيرة تتوافق فيها التفاوتات العشوائية التي ترفع قيمة الحقل في هذا الموضع أو تقللها في ذاك، ما ينتج عنه امتلاك المجال للقيمة عينها في كل أنحاءه. يتطلب هذا صدفة إحصائية، ويؤدّي إلى نظام أكبر ومن ثم إنتروبيا أقل، لكنه سيحدث في بعض الأحيان. لن يحدث كثيرًا. ولكن وفقًا لهذا المنظور لا تتعجّل الأمر. فنظرًا إلى أن كل هذه التفاصيل حدثت خلال فترة ما قبل التاريخ، قبل التمدد السريع للفضاء الذي نسميه الانفجار العظيم، لم يكن ثمة وجود لأي شخص، ينتظر في صبر نافد حدوث التمدّد التضخمي. لذا دع العرض السابق على التضخم يأخذ وقته. وفقط عندما تقع الصدفة الإحصائية المتمثّلة في رقعة التضخم المتجانسة ستتغير الأمور أخيرًا: فيُشعَل فتيل الانفجار العظيم، ويتضخم الفضاء، ويبدأ العرض الكوني.

في حين أن أيًا من هذا لا يعالج الأسئلة الأكثر جوهرية لأصل الكون (أصل المكان أو الزمن أو المجالات أو الرياضيات، وما إلى ذلك)، فإنه يوضح كيف يمكن أن تُنتج بيئةٌ فوضوية الظروفَ الخاصّة والمرتبة وذات الإنتروبيا المنخفضة التي يتطلّبها التضخم. وعندما تنجح بقعة ضئيلة من الفضاء أخيرًا في تحقيق القفزة غير المحتملة إحصائيًا إلى الإنتروبيا المنخفضة، تبدأ الجاذبية الطاردة عملها، وتدفعها إلى كون سريع التمدد؛ الانفجار العظيم. مكتبة سُر مَن قرأ

ليس هذا هو الاقتراح الوحيد المتعلق بكيفية انطلاق التمدّد التضخمي. وقد قال أندريه ليندِه، أحد رواد علم الكونيات التضخمي، مازحًا إن كل ثلاثة باحثين لهم تسعة آراء على الأقل حول هذا الموضوع[9]. وهكذا، نأمل أن تمنحنا البحوث المستقبلية، النظرية والرصدية، إجابة أكثر تحديدًا عن الكيفية التي أضحت بها بقعة صغيرة من الفضاء ممتلئة بحقل التضخّم بصورة متجانسة، بما أدى إلى دفعة متفجرة من التمدّد المكاني. وفي الوقت الحالي، سنفترض ببساطة أن الكون المبكر انتقل، بطريقة أو بأخرى، إلى هذا الترتيب المنخفض الإنتروبيا والمرتفع التنظيم، على نحو أدى إلى إشعال فتيل الانفجار وأتاح لنا أن نعلن أن الباقي تاريخ معروف.

وانطلاقًا من هذه النقطة، نشرع الآن في رحلتنا، كي نستكشف كيف تتشكّل البِنى المنظمة، مثل النجوم والمجرّات، داخل كون يندفع نحو مستقبل أكثر فوضى.

أصل المادة ومولد النجوم

في غضون جزء من مليار من مليار جزء الثانية بعد الانفجار العظيم، تسبّبت الجاذبية الطاردة في بسط منطقة صغيرة من الفضاء بصورة هائلة، بحيث صارت على الأرجح أكبر بكثير من أبعد نطاقات المسافة التي تستطيع أكثر التليسكوبات تقدّمًا الوصول إليها[10]. ظل الفضاء مملوءًا بمجال التضخم، ولكن بعد جزء بسيط آخر من الثانية تغير ذلك أيضًا. فمثل الطاقة الموجودة على سطح فقاعة صابون آخذة في التمدّد، تكون الطاقة في منطقة متمددة مليئة بمجال التضخم متقلقلة. فهي غير مستقرّة. وتمامًا مثلما تنفجر فقاعة الصابون في النهاية، وتحول طاقتها إلى رذاذ من قطرات الماء والصابون، فإن مجال التضخم «فرقع» في نهاية المطاف أيضًا؛ بحيث تحلّل، وحوّل طاقته إلى شبورة (ضباب) من الجُسَيْمات.

لا نعرف الهوية الدقيقة لهذه الجُسَيْمات، ولكن يمكننا أن نقول في ثقة إنها لم تكن المكونات العادية للمادة التي تعلّمتها في المدرسة الإعدادية. ومع ذلك، بعد مرور بضع دقائق أخرى فقط، وقعت سلسلة من تفاعلات الجُسَيمات السريعة في كل أنحاء الفضاء

-بحيث تحللت الجُسَيْمات الثقيلة متحولة إلى تيارات من الجُسَيْمات الأخف، واتحدت الجُسَيْمات ذات الارتباطات القوية معًا في تكتلات محكمة- وهو ما حوّل التيار البدائي إلى مجموعة من البروتونات والنيوترونات والإلكترونات، وهي المادة المألوفة لدينا (وربما، أيضًا، إلى مخزون من الجُسَيْمات الأكثر غرابة، مثل المادة المظلمة التي يشهد على وجودها تاريخ طويل من المشاهدات الفلكية[11]). وهكذا، بعد فترة زمنية قصيرة من الانفجار، كان الكون ممتلئًا بضباب ساخن شبه متجانس من الجُسَيْمات، بعضها مألوف، والبعض الآخر أقل أُلفة، يتهادى عبر حيز مكاني آخذ في الاتساع.

استخدمت الصفة «شبه متجانس»؛ لأن الاهتزازات الكمية لمجال التضخم لم تنتج وحسب اختلافات في درجة الحرارة في الوهج التالي على الانفجار العظيم فحسب، ولكنها ضمنت أيضًا أنه عندما يتحلّل التضخم، فإن كثافة الجُسَيْمات الناتجة ستتفاوت قليلًا عبر الفضاء؛ بحيث تكون أعلى قليلًا في هذا الموضع، وأقل قليلًا في ذاك، وهكذا. هذه التفاوتات ضرورية لما سيحدث بعد ذلك: التحوّل الشديد الأهمية نحو الأجرام ذات الكتل الضخمة مثل النجوم والمجرات. فالمنطقة الأكثر كثافة قليلًا من جاراتها تمارس قوة جاذبية أكبر قليلًا، ومن ثم تمتص كمية أكبر قليلًا من الجُسَيْمات المحيطة. وبالتبعية، تصبح المنطقة أكثر كثافة، ومن ثَم تمارس قوة جاذبية أكبر، وتمتص المزيد من المادة. إنه تأثير كرة ثلج مدفوع بالجاذبية وينتج كتلًا أكبر وأكبر من المادة. وإذا انتظرت طويلًا بما يكفي، مئات الملايين من الأعوام، سيؤدي تأثير كرة الثلج الجَذبوي إلى وجود تكتلات شديدة الضخامة، والانضغاط، والحرارة من الجُسَيْمات بحيث يشعل العمليات النووية، ويؤدي إلى مولد النجوم. فعدم اليقين الكمي، الذي يتم تضخيمه بواسطة التمدد التضخمي وتركيزه بواسطة تأثير كرة الثلج الجذبوي، ينتج نقاط الضوء التي ترصع سماء الليل.

والسؤال إذًا هو: كيف تتّفق عملية تشكُّل النجوم، التي تتسبب فيها الجاذبية في استمالة تيار شبه متجانس من الجُسَيْمات نحو تشكيل بِنى فيزيائية فلكية، مع ما يمليه القانون الثاني من زيادة في الفوضى والاضطراب؟ تتطلب الإجابة منا أن نفحص، بمزيد من العناية، المسارات نحو الإنتروبيا الأعلى.

عقبات على الطريق نحو الفوضى

بينما يُخبَز رغيف الخبز في فرنك، انتشرت الجُسَيْمات المنبعثة منه إلى الخارج، وشغلت حيّزًا كبيرًا بشكل متزايد، ومن ثم زادت الإنتروبيا الخاصة بها. ولكن إذا كنت في غرفة نوم بعيدة، فلن تستمتع فورًا برائحة الخبز الطازج؛ إذ يستغرق انتشار الرائحة عبر

منزلك وقتًا. وعليك الانتظار حتى تنتقل جزيئات الرائحة المحببة إلى الخارج وتشغل الترتيبات المتاحة ذات الإنتروبيا الأعلى. هذا أمر تقليدي. فالمنظومات الفيزيائية لا تستطيع بشكل عام القفز مباشرة إلى الترتيب ذي الإنتروبيا القصوى. وبدلًا من ذلك، بينما تهيم جُسَيْمات المنظومة عشوائيًّا، تزداد الإنتروبيا تدريجيًّا نحو أقصى حدٍّ ممكن.

على طول الطريق نحو الإنتروبيا الأعلى من الممكن أيضًا أن توجد عقبات تعوق التقدم. فإذا أغلقت باب الفرن أو المطبخ بإحكام ستجعل من الصعب انتشار الرائحة، مما يبطئ ارتفاع الإنتروبيا. هذه العوائق ناتجة عن التدخل البشري، ولكن هناك حالات أخرى تنشأ فيها عقبات الإنتروبيا من القوانين التي تحكم التفاعلات الفيزيائية عينها. وثمة مثال على هذا الأمر متعلّق بحادث مرَّ بي في طفولتي، يتضمّن فرنًا أيضًا.

ذات يوم وأنا في الصف الدراسي الرابع، عدت إلى المنزل من المدرسة وقررت تسخين بعض بقايا البيتزا التي وجدتها في الثلاجة. أدرت مؤشر الفرن إلى أربعمائة درجة، ووضعت البيتزا على الرف الأوسط، وانتظرت. بعد نحو عشر دقائق، تفقدت البيتزا لكن فوجئت بأنها كانت باردة تمامًا كما أخرجتها من الثلاجة. خطر لي فورًا أنه على الرغم من أنني قمت بتشغيل الغاز، ألّا أنني نسيت أن أشعل الفرن. (لم يكن فرننا المتواضع، الشائع في ذلك الوقت، مزودًا بخاصية الإشعال الذاتي، فكان يجب إشعاله يدويًا). لذا فعلت ما شاهدت والديَّ يقومان به مئات المرات، وانحنيت أمام الفرن وأشعلت عود الثقاب، بهدف وضعه داخل فتحة الغاز الصغيرة بالفرن. بحلول هذه النقطة كان قدر كبير من الغاز قد تراكم داخل الفرن، وعندما أشعلت عود الثقاب انفجر. تحرك جدار ناري نحوي بسرعة شديدة، فأغلقت عيني بإحكام بينما اشتعلت النيران، والتهمت حاجبيَّ ورموشي وخلَّفت حروقًا من الدرجتين الثانية والثالثة على وجهي. تركز الدرس الحياتي المباشر، الذي أكده والداي وعززته شهور من عملية الشفاء المؤلمة، على الاستخدام السليم لأجهزة المطبخ. (في النهاية شفيت تمامًا وأقوم الآن بمعظم الطبخ، وإن كنت أشعر بقلق عابر عندما يقوم أطفالي بتشغيل الفرن أثناء إعداد وجباتهم الخاصة). لكن النقطة العلمية الأكبر هي أنه يمكن أن توجد عقبات على طول الرحلة إلى الإنتروبيا الأعلى لا يمكن التغلب عليها إلّا بمساعدة محفز. إليك ما أعنيه.

يمكن أن يتعايش الغاز الطبيعي (الذي يتكوّن في الغالب من الميثان، وهو اتحاد للكربون والهيدروجين) بشكل سلمي مع الأكسجين الموجود في الهواء؛ إذ يمكن لجزيئات كل غاز أن تتحد معًا في هدوء. ولكن مع انتشار الجزيئات وتفرّقها، يلوح في الأفق ترتيب مميز ذي إنتروبيا أعلى بكثير. غير أنه ليس من الممكن الوصول إلى هذا الترتيب بمجرد السماح للجزيئات بالاستمرار في الانتشار؛ إذ يتطلب الترتيب

ذو الإنتروبيا الأعلى تفاعلًا كيميائيًا. لا تهمنا التفاصيل كثيرًا، ولكن اسمحوا لي أن أوضحها بصورة موجزة. يمكن أن يتّحد جزيء واحد من الغاز الطبيعي مع جزيئين من الأكسجين، ما يؤدي إلى تكوين جزيء واحد من ثاني أكسيد الكربون، وجزيئين من الماء، ودفعة قوية من الطاقة، وهو الأمر ذو الأهمية القصوى. على مستوى الجزيئات، هذا هو ما يعنيه احتراق الغاز الطبيعي. يطلق التفاعل الكيميائي الطاقة المختزنة داخل الروابط المُحكمة التي تمسك جزيئات الغاز معًا، مثلما يحدث عندما تنقطع بغتة مجموعة من الأربطة المطاطية المشدودة. في حالة مغامرة الفرن التي مررت بها، أدى ذلك الانفجار الشديد -الجزيئات المهتزة والسريعة الحركة- إلى سفع وجهي. كل هذا يخبرنا أنه من خلال إطلاق الطاقة المخزَّنة في الروابط الكيميائية المنظمة وتحويلها إلى حركة فوضوية للجزيئات السريعة الحركة، فإن هذه التفاعلات الكيميائية تؤدّي إلى ارتفاع حاد في الإنتروبيا.

على الرغم من أن هذه التفاصيل خاصة بحادث مؤسف مر به طفل واحد، إلّا أن هذا الموقف يوضح مبدأ فيزيائيًا قابلًا للتطبيق على نطاق واسع. فمن الممكن أن توجد مطبّات سرعة على الطريق نحو الإنتروبيا: فإذا تُرك الغاز الطبيعي والأكسجين لحالهما فلن يتّحدا، ولن يحترقا، ولن يصلا إلى الترتيب المتاح الأعلى من حيث الإنتروبيا. ولا تستطيع هذه المكونات الكيميائية التغلّب على العقبات نحو الإنتروبيا إلّا بمساعدة محفّزٍ يمكنه بدء التفاعل. في حالتي، كان المحفز عود الثقاب المشتعل. فالشعلة الصغيرة التي أشعلتها وأنا في الصف الرابع أطلقت تأثير دومينو. فقد كسرت طاقة اللهب الروابط التي تربط بعض جزيئات الغاز الطبيعي معًا، مما سمح لذرات الكربون والهيدروجين المُحررة حديثًا بالاندماج مع ذرات الأكسجين المحيطة، وهو ما أطلق طاقة إضافية قطعت المزيد من روابط الغاز الطبيعي، مما عزز العملية أكثر وأكثر. وكان الانفجار هو دفقة الطاقة المتولدة عن إعادة الترتيب السريعة للروابط الكيميائية.

لاحظ أن الروابط الكيميائية تعتمد على القوة الكهرومغناطيسية. فالبروتونات الموجبة الشحنة تجتذب الإلكترونات السالبة الشحنة (بحسب قاعدة: «الشحنات الكهربية المتضادة تتجاذب»)، وتثبّت المكونات الذرية على صورة اتحادات جزيئية. وهذا يعني أن القفزة الإنتروبية من جزيئات الغاز المتداخلة معًا في هدوء إلى الاحتراق المتفجّر المتولّد عن كسر الروابط الكيميائية وتكوينها تكون مدفوعة بالقوة الكهرومغناطيسية. وهذا ينطبق على العديد من العمليات التي تشهد زيادة في الإنتروبيا والتي نمر بها في الحياة اليومية.

على الرغم من كون التطور نحو الإنتروبيا الأعلى مألوفًا بدرجة أقل هنا على الأرض،

إلّا أنه في الحوادث الكونية المتكرّرة، غالبًا ما يكون هذا التطور مدفوعًا بقوى أخرى من قوى الطبيعة: قوة الجاذبية والقوتان النوويتان (القوة النووية الشديدة التي تجمع النوى الذرية معًا، والقوة النووية الضعيفة التي تولّد التحلّل الإشعاعي). وكما رأينا إلى الآن في حالة القوة الكهرومغناطيسية، ليس من الضروري أن يكون المسار نحو الإنتروبيا الأعلى، ذلك المسار الذي تشكّله قوة الجاذبية والقوتان النوويتان، سلسًا أيضًا. فمن الممكن أن توجد عقبات، وكثيرًا ما يكون هذا هو الحال بالفعل. يتغلّب الكون على هذه العقبات -النظير الكوني لإشعال الثقاب- بطرق دقيقة معقدة. لكن ينبغي علينا جميعًا الاهتمام بها. تعد النجوم والكواكب من البنى العابرة التي تتشكّل بينما توجه قوة الجاذبية والقوتان النوويتان الكون نحو الإنتروبيا الأعلى، أما هنا على الأرض، فهي الحياة. وعلى الرغم مما تتّسم به هذه الترتيبات المنظمة من جلال وبهاء، فما هي إلّا أدوات من صُنع الطبيعة، تسخّر الجاذبية والقوتين النوويتين لدفع الكون نحو تحقيق أقصى درجات الإنتروبيا الممكنة.

ولنركز أولًا على الجاذبية.

الجاذبية، والنظام، والقانون الثاني

الجاذبية أضعف قوى الطبيعة، وتتجلى هذه الحقيقة من واقع أبسط الأمثلة. التقط عملة معدنية، وبهذا تكون عضلات ذراعك قد تغلبت على قوة جاذبية الأرض كلها. وسواء أكنت تُعدّ نفسك ضعيفًا أو قويًا، فإن الانتصار على قوة الجاذبية لكوكب كامل يُبرز الضعف الجوهري للجاذبية. والسبب الوحيد الذي يجعلنا واعين بالجاذبية هو أنها قوة تراكمية: فكل جزء من الأرض يجذب كل جزء من العملة، وكل جزء من هذا الكتاب، وكل جزء منك، ونظرًا إلى أن كوكب الأرض ضخم الكتلة، فإن قوى الجذب هذه تزيد من القوى الضاغطة إلى أسفل التي يمكن أن نشعر بها. غير أن قوة الجاذبية بين شيئين أصغر، مثل إلكترونَين، تكون أضعف بمليون مليار مليار مليار مرة من قوة التنافر الكهرومغناطيسي بينهما.

الضعف الجوهري للجاذبية هو السبب في أننا لم نذكرها حتى خلال استكشافنا السابق للإنتروبيا. وإذا قمنا بتضمين تأثيرات الجاذبية في المواقف اليومية، مثل انتشار البخار في حمامك أو انجراف الروائح في أرجاء منزلك، فإن مناقشتنا للإنتروبيا لن تتغيّر. من المؤكد أن الجاذبية تجذب الجزيئات إلى أسفل برفق، مما يجعل كثافة البخار أكبر قليلًا بالقرب من أرضية الحمام، غير أن هذا التأثير له دور ضئيل للغاية في الفهم النوعي بحيث لا يهم. ومع ذلك، إذا حولنا انتباهنا عن الحياة اليومية وتدبّرنا العمليات

الفلكية التي تنطوي على قدر أكبر بكثير من المادة، فسنواجه تفاعلًا شديد الأهمية بين الإنتروبيا وقوة الجاذبية.

أقر بأن الأفكار التي سأشرحها الآن صعبة الفهم بقدر ما، لذا لا تتردّد في الانتقال إلى القسم التالي للحصول على ملخص إذا صارت المناقشة في أي وقت مُستعصية على الفهم. غير أن مردود مواصلة القراءة يستحق الجهد المبذول؛ إذ ستفهم الكيفية التي تنتزع بها الجاذبية النظام تلقائيًا من كون متزايد الاضطراب.

تخيّل نسخة كونية من سيناريو الخَبز. لكن بدلًا من منزلك، تخيل صندوقًا ضخمًا، أكبر بكثير من الشمس، يطفو في فضاء فارغ. وبدلًا من الروائح المتسرّبة من الفرن، تخيل أننا بدأنا في منتصف الصندوق بكرة من الغاز (لنكون محددين، تخيل أنه غاز الهيدروجين، العنصر الأبسط في الجدول الدوري) الذي تنتشر جزيئاته إلى الخارج. من تجربتنا مع رائحة الخبز المنجرفة في أرجاء منزلك، نتوقّع أن يتطور الغاز نحو إنتروبيا أعلى عن طريق تشتت الجزيئات حتى تملأ الصندوق بشكل متجانس. ولكن الآن دعنا نغير الوضع قليلًا، وخلافًا لحالة خَبز الرغيف، دعنا نضيف الكثير من الجزيئات إلى كرة الغاز بحيث تكون للجاذبية أهميتها: فقوة الجذب الواقعة على أي جزيء معيّن، والراجعة إلى التأثير الجاذب المشترك الذي يبذله العدد الهائل من جزيئات الغاز الأخرى، تؤثّر بشكل ملحوظ على حركة الجزيء. كيف يؤثر هذا على النتيجة التي سنخلص إليها؟

حسنًا، ضع نفسك مكان جزيء غاز يتقدّم الهجرة إلى الخارج. بينما تنجرف مبتعدًا عن الكتلة المركزية، ستشعر بشد الجاذبية الذي تمارسه جميع الجزيئات الأخرى التي تجذبك للخلف. وهذه القوة تبطئك. وتعني السرعة البطيئة انخفاض درجة الحرارة. وهكذا بينما يزداد الحجم الإجمالي لسحابة الغاز عن طريق التمدّد إلى الخارج، تنخفض درجة الحرارة قرب الحدود الخارجية. ضع ذلك في اعتبارك، والآن انتقل معي إلى منظور جزيء يقع بالقرب من قلب السحابة. بسبب هذا القرب، ستشعر بقوة جاذبية أقوى بكثير مقارنة بتجربتك السابقة على الحدود الخارجية البعيدة. وفي الواقع، بوجود عدد كافٍ من الجزيئات الأخرى، ستكون قوة الجاذبية الموحّدة قوية بما يكفي لمنعك من الهجرة للخارج على الإطلاق. وبدلًا من ذلك، سوف تُجذَب إلى الداخل. وهكذا ستسقط نحو قلب كتلة الغاز، وتزداد سرعتك خلال السقوط. وتعني السرعة الأكبر درجة حرارة أعلى، ومن ثَم ستسبب الجاذبية انكماش قلب سحابة الغاز إلى الداخل، مما يقلل من حجمه، ويرفع درجة حرارته.

مقارنة بتوقّعاتنا المبنية على خَبز الرغيف -الغاز سيصير، بمرور الوقت، موزعًا

بالتساوي في جميع أنحاء الصندوق ويكتسب درجة حرارة متجانسة- نرى أنه عندما تلعب الجاذبية دورًا مهمًّا، فإن سير الأمور سيختلف تمامًا. تؤدّي الجاذبية إلى سحب بعض الجزيئات إلى قلب أكثر حرارة وكثافة، بينما تنجرف جزيئات أخرى إلى الخارج نحو قشرة أبرد وانتشارًا تحيط به.

على الرغم من أن هذه الملاحظات قد تبدو متواضعة، فقد أمطنا الآن اللثام عن واحدة من أشد القوى المنظِّمة تأثيرًا في الكون. دعني أوضح.

لم يحدث قَط أن أمسكت قهوتك في الصباح ووجدتها صارت أشد سخونة مما كانت عليه عندما صببتها. وسبب ذلك هو أن الحرارة تتدفّق فقط من درجة حرارة أعلى إلى درجة حرارة أقل، ومن ثَم تنقل القهوة الساخنة بعضًا من حرارتها إلى البيئة الأكثر برودة، مما يتسبّب في انخفاض درجة حرارة القهوة[12]. وبالنسبة إلى سحابة الغاز الكبيرة التي تحدّثنا عنها، تتدفّق الحرارة أيضًا من القلب المركزي الساخن إلى الغلاف المحيط الأبرد. لا يسعني أن أعدُّك مخطئًا إذا اعتقدتَ أن تدفق الحرارة هذا سوف يبرِّد القلب ويسخِّن القشرة، ويقرِّب درجات الحرارة بعضها من بعض، مثلما تقوم الحرارة المنقولة من القهوة إلى الهواء بتقريب الكوب الساخن من درجة حرارة الغرفة. ولكنْ، ثمة أمر مذهل وشديد الأهمية؛ وهو أنه عندما تكون الجاذبية هي القوة المهيمنة، تكون النتيجة معكوسة: *مع تدفّق الحرارة من القلب، يصبح القلب أكثر سخونة والقشرة أكثر برودة.*

هذا أمر مجافٍ للبديهة بالتأكيد، غير أن فهمه لا يعدو كونه مسألة ربط للنقاط التي أوضحناها بالفعل. فبينما يمتصّ الغلاف المحيط الحرارة من القلب، تدفع الطاقة الإضافية السحابة إلى الانتفاخ أكثر. مرة أخرى، تقاوم الجزيئات المتحرّكة إلى الخارج قوى الشد الداخلية للجاذبية، ومن ثَم فإنها تتباطأ أكثر[13]. وتتمثّل المحصلة الصافية في انخفاض درجة حرارة الغلاف المتمدّد، لا ارتفاعها. وعلى العكس من ذلك، عندما يتخلّى القلب عن الحرارة، يؤدّي انخفاض الطاقة إلى انكماشه أكثر. تزداد سرعة الجزيئات المتحرّكة نحو الداخل، والتي تتدفّق في نفس اتجاه قوة الشدّ الداخلية للجاذبية، مع سقوطها، ومن ثَم تكون النتيجة ارتفاع درجة حرارة القلب المنكمش، لا انخفاضها.

إذا تصرّفت قهوتك بهذه الطريقة، ننصحك بشربها بسرعة. فكلما طال الانتظار، زادت الحرارة التي تتخلّى عنها إلى الهواء المحيط وأصبحت أكثر سخونة. هذا أمر عبثي في حالة القهوة. ولكن في حالة سحابة غاز كبيرة بما يكفي بحيث تلعب الجاذبية دورًا مهيمنًا، هذا ما يحدث.

تدبر هذه النتيجة للحظة وستدرك أننا واجهنا عملية تضخيم ذاتي، تشبه تمامًا ما يحدث في حالة ديون بطاقات الائتمان؛ فكلما زاد دينك، زادت الفوائد المستحقة عليك، وصار دينك أكبر، وهو ما يقودك إلى دوامة. بالنسبة إلى سحابة الغاز، عندما ينكمش القلب وترتفع درجة حرارته، فإنه سيتخلى عن المزيد من الحرارة إلى المناطق المحيطة الأكثر برودة، ما يتسبّب في انكماش القلب أكثر وارتفاع درجة حرارته أكثر. في الوقت نفسه، تتسبّب الحرارة التي يمتصها الغلاف في تمدّده أكثر وانخفاض درجة حرارته أكثر. وتتسبب الفجوة المتزايدة باطراد في درجة الحرارة بين القلب والغلاف الخارجي في تدفق الحرارة بقوة أكبر وتدفع الدورة إلى الاستمرار أكثر وأكثر.

وما لم يحدث تدخل أو تغيير في الظروف، تستمر دورات التضخيم الذاتي بلا هوادة. في حالة ديون بطاقات الائتمان المتراكمة، يحدث التدخل بأن تدفع بعض المال أو تعلن إفلاسك. وفي حالة القلب المضغوط الذي يزداد سخونة على نحو مطرد، تتدخّل الطبيعة من خلال عملية فيزيائية جديدة: *الاندماج النووي*. فعندما تصبح مجموعة من الذرّات ساخنة وكثيفة بما يكفي، فإنها تتصادم معًا بقوة شديدة تمكّنها من الالتحام معًا على نحو أعمق مما يحدث في العمليات الكيميائية مثل حرق الغاز الطبيعي. وفي حين يتضمّن الاحتراق الكيميائي الإلكترونات المحيطة بالذرات، فإن الاندماج النووي هو تفاعل يضم النوى الموجودة في مراكز الذرات معًا. وعن طريق هذا الاتحاد العميق يولّد الاندماج النووي كميات وفيرة من الطاقة التي تتجلّى على صورة جزيئات سريعة الحركة. وهذه الحركة الحرارية السريعة هي التي تولّد ضغطًا دافعًا إلى الخارج قادرًا على موازنة قوة الجاذبية التي تسحب إلى الداخل. وهكذا فإن الاندماج النووي الحادث في القلب يوقف الانكماش. والنتيجة هي مصدر للحرارة والضوء يتّصف بأنه مُركّز ومستقر ومستديم.

وهكذا يولد نجم.

لتقدير مدى اتفاق عملية التكوُّن مع حسابات الإنتروبيا، دعنا نجمع العناصر المساهمة. يتعرض كل من قلب سحابة الغاز، الذي سيصبح النجم، وكذلك الغلاف الغازي المحيط به إلى تأثيرين متنافسين للإنتروبيا. بالنسبة إلى القلب، ترتفع درجة الحرارة، وهو ما يعمل على زيادة الإنتروبيا، وينخفض الحجم، وهو ما يعمل على خفض الإنتروبيا. وحدها الحسابات التفصيلية[14] قادرة على تحديد الفائز، والنتيجة هي أن النقص يفوق الزيادة، ومن ثَم تنخفض الإنتروبيا الكليّة. إن تكوُّن كتل كبيرة جاذبة، مثل النجوم، هو في الواقع خطوة نحو مزيدٍ من النظام. وبالنسبة إلى الغلاف المحيط، يزداد الحجم، وهو ما يعمل على زيادة الإنتروبيا، وتنخفض درجة الحرارة،

وهو ما يعمل على خفض الإنتروبيا. ومرة أخرى، ثمة حاجة إلى عملية حسابية تفصيلية لتحديد الفائز، والنتيجة هي أن الزيادة تفوق النقص، لذا ترتفع الإنتروبيا الكلّية للغلاف. وعلى القدر ذاته من الأهمية، تشير الحسابات إلى أن زيادة الإنتروبيا في الغلاف تفوق انخفاض الإنتروبيا في القلب، مما يضمن أن تؤدي العملية بأكملها إلى زيادة إجمالية في الإنتروبيا، وهو ما يتّفق مع القانون الثاني.

تظهر سلسلة الحوادث هذه، المعروضة بكثير من المثالية والتبسيط بالتأكيد، كيف يمكن إنتاج نجم -جيب من الإنتروبيا المنخفضة، وجيب من النظام- بصورة تلقائية على الرغم من عدم وجود مهندس يوجه العمل، وعلى الرغم من احتفاظ القانون الثاني للديناميكا الحرارية، الذي ينص على أن الإنتروبيا الإجمالية تزداد، بكامل تأثيره. مقارنةً بالمحرك البخاري، فإن المشهد الكوني أكثر غرابة، ولكن ما وجدناه هو مثال آخر على رقصة الإنتروبيا الثنائية. ومثلما ينخرط المحرك البخاري والبيئة المحيطة به في رقصة ديناميكية حرارية -بحيث يطلق المحرك البخاري حرارة مُهدرة، مما يتسبّب في خفض الإنتروبيا، بينما تمتص البيئة الحرارة، مما يتسبب في زيادة الإنتروبيا- تنخرط أي سحابة غازية كبيرة بما يكفي بحيث تكون للجاذبية اليد العليا في رقصة ثنائية مماثلة. وبينما ينكمش قلب سحابة الغاز هذه تحت تأثير الجاذبية، تنخفض الإنتروبيا، ولكن خلال هذه العملية يطلق القلب حرارة تتسبّب في زيادة إنتروبيا المناطق المحيطة. وهكذا تنشأ منطقة محلية من النظام داخل بيئة تخضع إلى زيادة أكثر من مكافئة في الاضطراب.

السمة الجديدة لنسخة الجاذبية من رقصة الإنتروبيا الثنائية هي أنها داعمة لذاتها. فمع انكماش سحابة الغاز وإطلاقها للحرارة، ترتفع درجة حرارتها، ما يتسبّب في تدفق المزيد من الحرارة إلى الخارج ومواصلة الرقصة. على النقيض من ذلك، عندما يؤدّي المحرك البخاري عمله ويطلق الحرارة، تنخفض درجة حرارته. ومن دون حرق المزيد من الوقود لتسخين البخار مرة أخرى، يخمد المحرك. لهذا السبب يحتاج المحرك البخاري إلى ذكاء بارع من أجل تصميمه وبنائه وتشغيله، في حين أن منطقة النظام التي أُنشئَت بواسطة سحابة منكمشة من الغاز -أي النجم- تم نحتها وتشغيلها بواسطة قوة الجاذبية العديمة العقل.

الاندماج، والنظام، والقانون الثاني

دعونا نلخّص ما سبق.

عندما يكون تأثير الجاذبية ضئيلًا، يدفع القانون الثاني المنظومة نحو التجانس. فتنتشر الأجسام، وتتوزع الطاقة، وترتفع الإنتروبيا. وإذا كان هذا كل ما في الأمر،

فستكون قصة الكون رتيبة، من البداية إلى النهاية. ولكن عندما يوجد ما يكفي من المادة بحيث يكون تأثير الجاذبية مهمًا، ينعكس مسار القانون الثاني بسرعة، ويدفع النظام بعيدًا عن التجانس. فتتكتّل المادة في هذا الموضع وتنتشر في ذاك. وتتركّز الطاقة في هذا الموضع وتتوزّع في ذاك. وتنخفض الإنتروبيا في هذا الموضع وترتفع في ذاك. ومن ثَم فإن الطريقة التي يُنَفَّذ بها ما يمليه القانون الثاني تعتمد اعتمادًا حساسًا على قوة الجاذبية. فعندما يكون هناك ما يكفي من الجاذبية -ما يكفي من المادة المركزة- يمكن للبنى المنتظمة أن تتشكّل. وهكذا، تصير قصة الكون الآخذ في التشكّل أكثر ثراءً بكثير.

كما أوضحنا، تلعب الجاذبية دور البطولة في هذه العملية. وبالمقارنة، تبدو القوة النووية المسؤولة عن الاندماج ثانوية بلا ريب. فوظيفتها تقتصر، في ما يبدو، على التدخّل: إذ يؤدي الاندماج إلى الضغط الدافع إلى الخارج الذي يوقف الانهيار الداخلي المدفوع بالجاذبية. وفي الواقع، يقضي أحد الملخصات المرتجلة التي يقدّمها العلماء بشكل عام بأن الجاذبية هي المصدر المُطلَق لجميع البنى داخل الكون، من دون الإشارة البتة إلى دور القوة النووية. غير أن التقييم الأكثر سخاءً يقضي أن هناك شراكة عادلة بين الجاذبية والقوة النووية، حيث تعملان جنبًا إلى جنب لتعزيز ما يمليه القانون الثاني.

النقطة المهمة هنا هي أن القوة النووية تشارك في رقصة الإنتروبيا الثنائية هي أيضًا. فعندما تندمج النوى الذرية -كما هي الحال في الشمس، حيث تندمج نوى الهيدروجين لتشكل ذرات الهليوم مليارات ومليارات المرات في كل ثانية - تكون النتيجة عنقودًا ذَريًّا أكثر تعقيدًا وتنظيمًا وذا إنتروبيا أقل. وفي هذه العملية، يتم تحويل جزء من كتلة النوى الأصلية إلى طاقة (كما هو موصوف من خلال المعادلة «الطاقة تساوي الكتلة مضروبة في مربع سرعة الضوء»، أو $E=mc^2$)، ويتحقّق ذلك غالبًا في شكل دفعة من الفوتونات تسخّن الحيز الداخلي للنجم وتطلق الضوء من سطح النجم. ومن خلال ضوء النجوم الناري هذا، الذي هو في حد ذاته سيل من الفوتونات المتدفّقة إلى الخارج، ينقل النجم كميات وفيرة من الإنتروبيا إلى البيئة. وفي الواقع، ومثلما حدث مع المحرك البخاري، ومع سحابة الغاز المنكمش، فإن الزيادة في الإنتروبيا البيئية تعوّض انخفاض الإنتروبيا الناتج عن اندماج النوى وأكثر، وهو ما يضمن ارتفاع الإنتروبيا الكلية وضمان تطبيق القانون الثاني مرة أخرى.

ومثلما يحتاج الغاز الطبيعي والأكسجين إلى محفز (مثل عود الثقاب الذي أشعلتُه) لبدء عملية الاحتراق الكيميائي، تحتاج النوى الذرية إلى محفز لبدء الاندماج النووي. بالنسبة إلى النجوم، فإن هذا المحفز ليس سوى قوة الجاذبية، التي تسحق المادة في

قلب النجم حتى تصبح ساخنة بما يكفي وكثيفة بما يكفي لبدء الاندماج. وبمجرد أن يبدأ الاندماج، يمكنه أن يمد النجم بالطاقة لمليارات الأعوام، ويعمل بلا هوادة على تخليق النوى الذرية المعقّدة بينما يستخرج دفعة من الإنتروبيا ما كان من الممكن الوصول إليها من دون تلك العملية، وينشرها إلى الخارج من خلال الحرارة والضوء. وكما سنناقش في الفصل التالي فإن هذه المنتجات -الذرات المعقدة وتيار الضوء المتدفق المستمر- ضرورية لتشكيل البنى الأكثر ثراءً وتعقيدًا، بما في ذلك أنا وأنت. وهكذا، على الرغم من أن الجاذبية هي القوة الحيوية في تكوُّن النجم وفي الحفاظ على بيئة نجمية مستقرة، فإن القوة النووية هي التي تقاتل على الخطوط الأمامية، وتتقدّم هجوم الإنتروبيا، لمليارات الأعوام. ومن هذا المنظور، يتحوّل دور الجاذبية من بطل الرواية إلى شريك لا غنى عنه في أغنية ثنائية طويلة.

المحصّلة النهائية، المجسّدة، هي أن الكون يستغل بذكاء قوة الجاذبية والقوة النووية كي يستخلص بمهارة كنزًا مخبأً من الإنتروبيا غير المستغلّة المحبوسة داخل مكوناته المادية. فمن دون الجاذبية، تكون الجُسَيْمات الموزّعة في تجانس، مثل الرائحة التي ملأت منزلك، قد وصلت إلى أعلى إنتروبيا متاحة. ولكن مع الجاذبية، تُعتَصَر الجُسَيْمات لتشكّل كرات ضخمة وكثيفة مدعومة بالاندماج النووي وترفع الإنتروبيا أكثر وأكثر.

تؤدّي المادة في كل أرجاء الكون هذه النسخة من رقصة الإنتروبيا الثنائية، التي تحفّزها الجاذبية وتنفذها القوة النووية. وقد سيطرت هذه العملية على المشهد الكوني بُعيد الانفجار العظيم، مما أدى إلى تكوُّن أعداد هائلة من النجوم، وهي بِنى فلكية منظمة أتاحت حرارتها وضوؤها، في حالة واحدة على الأقل، ظهور الحياة. وكما سنستكشف في الفصل التالي فإن هذا التطوّر يتضمن نظيرًا للإنتروبيا -وهو التطور- قادرًا على تشكيل أكثر البِنى تعقيدًا في الكون.

الفصل الرابع

المعلومات والحيوية

من البنية إلى الحياة

«عزيزي البروفيسور شرودنجر»، هكذا بدأت الرسالة المتواضعة التي أرسلها عالم الأحياء فرانسيس كريك في العام 1953 إلى إرفين شرودنجر، أحد الآباء المؤسسين لميكانيكا الكم والحائز على جائزة نوبل في الفيزياء العام 1933. «كنت أتناقش ذات مرة مع واطسون حول الكيفية التي دخلنا بها إلى مجال البيولوجيا الجزيئية، واكتشفنا أن كلينا قد تأثر بكتابك الصغير المعنون «ما الحياة؟»» ثم أتبع كريك الإشارة إلى كتاب شرودنجر بتعبير عن البهجة كان قادرًا بالكاد على كتمانه إذ قال: «وقد رأينا أنك قد تكون مهتمًا بالنُسَخ المطبوعة المرفقة؛ إذ سترى أنه يبدو كما لو أن مصطلح «البلورة غير المنتظمة» الذي ابتكرتَه سيكون ملائمًا جدًّا»[1].

إن واطسون الذي يشير إليه كريك، هو بالطبع جيمس واطسون، الذي شارك كريك تأليف «النسخ المطبوعة المُرفقة»، التي طُبعَت حديثًا وتضمنت ورقة علمية قُدِّرَ لها أن تكون واحدة من أشهر الأوراق العلمية في القرن العشرين. لم تشغل هذه المخطوطة، في شكلها المنشور، أقل من صفحة مجلة واحدة، ومع ذلك أثبتت أنها كافية لتوضيح هندسة اللولب المزدوج للحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين، الـDNA، ونال كريك وواطسون، جنبًا إلى جنب مع موريس ويلكنز، جائزة نوبل للعام 1962[2]. ومن اللافت للنظر أن ويلكنز أشاد أيضًا بدور كتاب شرودنجر في إثارة شغفه بتحديد الأساس الجزيئي للوراثة، وعن هذا قال ويكنز: «لقد دفعني إلى الحركة»[3].

ألَّفَ شرودنجر كتاب «ما الحياة؟» في العام 1944، واستند في تأليفه للكتاب إلى سلسلة من المحاضرات العامة التي ألقاها في العام السابق في معهد دبلن للدراسات المتقدّمة. عند الإعلان عن المحاضرات، أشار شرودنجر إلى أن موضوعه كان صعبًا، وأن «المحاضرات لا يمكن وصفها بأنها شعبية»، وهو التزام جدير بالثناء لاستكشاف الموضوع بصورة شاملة، حتى لو تحقق هذا على حساب الفقدان المحتمل بعض الجمهور[4]. وعلى الرغم من ذلك، وعلى مدار ثلاثة أيام جمعة متتابعة في فبراير

1943، وبينما كانت الحرب العالمية الثانية مشتعلة في القارة، احتشد جمهور يزيد عدده على أربعمائة شخص -من بينهم رئيس الوزراء الأيرلندي، والعديد من الشخصيات البارزة والأثرياء- في مسرح محاضرات على قمة مبنى فيتزجيرالد الرمادي الحجري في حرم كلية ترينيتي للاستماع إلى الفيزيائي المولود في فيينا، وهو يتناول موضوع علم الحياة[5].

كان الدافع الأساسي لدى شرودنجر، بحسب وصفه، هو محاولة إحراز تقدّم في سؤال واحد أساسي: «كيف تُفسَّر الحوادث *الزمنية والمكانية* التي تقع داخل الحدود المكانية لكائن حي بواسطة الفيزياء والكيمياء؟»، أو، بعبارة فضفاضة: الصخور مختلفة عن الأرانب. ولكن كيف؟ ولماذا؟ كل منهما عبارة عن مجموعة هائلة من البروتونات والنيوترونات والإلكترونات، وكل هذه الجُسَيْمات -سواء أكانت محصورة داخل الصخور أو الأرانب- تحكمها نفس قوانين الفيزياء. إذًا ما الذي يحدث داخل جسم الأرنب بحيث يجعل مجموعته الخاصة من الجُسَيْمات مختلفة بهذه الصورة الجوهرية عن مجموعة الجُسَيْمات التي تشكل الصخرة؟

هذه هي نوعية الأسئلة التي يطرحها الفيزيائي. في أكثر الأحيان، يكون الفيزيائيون اختزاليين، ومن ثم يميلون إلى النظر ما وراء الظواهر المعقّدة بحثًا عن تفسيرات تعتمد على خصائص المكونات الأبسط وتفاعلاتها. أما علماء الأحياء فغالبًا ما يُعَرِّفون الحياة من خلال أنشطتها الأساسية -فالحياة تمتص المواد الخام من أجل تشغيل الوظائف ذات الاكتفاء الذاتي، والتخلّص من المخلّفات الناتجة عن العملية، وفي الحالات الأكثر نجاحًا تتكاثر- وسعي شرودنجر للحصول على إجابة للسؤال: «ما الحياة؟»، تعتمد على الأسس الفيزيائية الأساسية للحياة.

إغراء الاختزالية قوي. فإذا استطعنا تحديد ما يحرّك مجموعة من الجُسَيْمات، وما السحر الجزيئي الذي يشعل شرارة الحياة، فسنخطو خطوة مهمّة نحو فهم أصل الحياة ومدى شيوع الحياة، أو غيابها، في الكون. وبعد أكثر من نصف قرن، وعلى الرغم من الخطوات الهائلة المقطوعة في الفيزياء وخاصة البيولوجيا الجزيئية، ما زلنا نسعى إلى إجابة نسخ متنوعة من سؤال شرودنجر. وبينما تحقّق تقدّم مثير للإعجاب في تحليل الحياة (والمادة بشكل أعم) إلى الأجزاء المكوِّنة لها، لا يزال الباحثون يواجهون المهمة الهائلة المتمثلة في تحديد كيفية ظهور الحياة عندما يجري تنظيم مجموعات من هذه المكونات في ترتيبات معينة. وهذا التخليق يعد عنصرًا أساسيًا في البرنامج الاختزالي. فعلى أي حال، كلما فحصت شيئًا بدقة أكبر، كان من الصعب أن ترى أنه حي. ركز على جزيء واحد من الماء، أو ذرة هيدروجين، أو إلكترون منفرد، وستجد

أنه لا يحمل أي علامة تحدّد ما إذا كان مكونًا لكائن حي أم ميت، كائن نابض بالحياة أم جماد. يتم التعرف على الحياة من السلوك الجماعي، والتنظيم الواسع النطاق، والتنسيق الشامل لعدد هائل من المكونات الجُسَيْمية؛ فحتى الخلية الواحدة تحتوي على أكثر من تريليون ذرة. والبحث عن ماهية الحياة عن طريق التركيز على الجُسَيْمات الأساسية يشبه الاستماع إلى إحدى سيمفونيات بيتهوفن آلة تلو الأخرى على انفراد، ونغمة موسيقية منفردة تلو الأخرى.

شدّد شرودنجر نفسه على نسخة من هذه النقطة عينها في محاضرته الأولى. فإذا ضعف الجسم أو الدماغ نتيجة الحركة الخاطئة لذرّة واحدة أو حفنة من الذرات، فستكون احتمالات بقاء ذلك الجسم أو الدماغ قاتمة. وأوضح شرودنجر أن الأجسام والعقول، سعيًا منها لتجنّب هذه الحساسية، تتألف من مجموعات كبيرة من الذرات يمكن أن تحافظ على وظائفها المنسّقة بشكل عام حتى عندما تتعرّض الذرات الفردية إلى الاهتزاز العشوائي. وهكذا لم يكن شرودنجر يهدف إلى الكشف عن وجود الحياة في ذرة واحدة وإنما إلى تعظيم فهمنا للذرّات بغية بناء تفسير فيزيائي للكيفية التي تتجمّع بها مجموعة كبيرة معًا بحيث تشكّل كائنًا حيًا. وكان يرى أن هذا المسعى شامل ومن المرجح أن يفرض على العلم توسيع قاعدته المفاهيمية. وفي الواقع، في كلمات ختامية بكتاب «ما الحياة؟» تمسّ موضوع الوعي، أثار شرودنجر دهشة البعض (وخسر ناشره الأول) عندما استحضر نصوص الأوبانيشاد الهندوسية كي يقترح أننا جميعًا جزء من «ذات خالدة، كلية الوجود، ومحيطة بكل شيء»، وأن حرية الإرادة التي يمارسها كل شخص منّا تعكس قدراتنا الإلهية[6].

على الرغم من أن نظرتي للإرادة الحرّة تختلف عن نظرة شرودنجر (كما سنرى في الفصل الخامس)، فإنني أشاركه انجذابه إلى مشهد تفسيري واسع. فالألغاز العميقة تتطلّب وضوحًا تقدّمه مجموعة من القصص المتداخلة. ونحن نحيك معًا أكثر صور الفهم ثراءً -سواء أكانت هذه الصور اختزالية أم عابرة، رياضية أم رمزية، علمية أو شاعرية- عن طريق تناول الأسئلة من نطاق عريض من المنظورات المختلفة.

القصص المتداخلة

خلال القرون القليلة الماضية، نَقَّحَت الفيزياء مجموعتها الخاصة من القصص المتداخلة ونظّمتها بحسب المسافات التي ترتبط بها كل قصة. وهذا أمر أساسي لنهج نصرّ نحن الفيزيائيون على غرسه في طلابنا. فمن أجل فهم كيف تتشوّه كرة البيسبول بشكل عابر نتيجة ضربة قوية من مضرب مايك تروت، ثم تعود إلى شكلها

الكروي، ستحتاج إلى تحليل البنية الجزيئية للكرة. هذا هو المكان الذي تضغط فيه القوى الفيزيائية المتناهية الصغر التي لا تعَدّ ولا تحصى على موضع التشوّه وتطلق الكرة في طريقها. بيد أن هذا المنظور الجزيئي سيكون عديم الفائدة عند محاولة فهم مسار الكرة. فالبيانات الضخمة المطلوبة لتتبع حركة تريليونات تريليونات الجزيئات أثناء دوران الكرة وتحليقها فوق سياج الجانب الأيسر من الملعب ستكون غير مفهومة تمامًا. وعندما يتعلّق الأمر بالمسار، فأنت بحاجة إلى أخذ خطوة إلى الوراء والابتعاد عن الصورة الجزيئية ودراسة حركة الكرة ككل. فسيكون عليك أن تحكي القصة من مستوى أعلى، وهي قصة ذات صلة ولكنها متميزة.

يوضح المثال إدراكًا بسيطًا ولكنه شديد الأهمية على نطاق واسع: إن الأسئلة التي نطرحها تحدّد القصص التي تقدّم الإجابات الأكثر فائدة. إنها بنية روائية تعتمد على واحدة من الصفات غير المتوقعة للطبيعة، وهي أن الكون يتصف بالاتساق عند كل نطاق من نطاقاته. لم يكن نيوتن على علم بالكواركات والإلكترونات، ومع ذلك فإذا أعطيته سرعة كرة البيسبول واتجاهها لحظة خروجها من مضرب مايك تروت، فسيحسب مسارها من دون جهد. ومع تقدم الفيزياء منذ زمن نيوتن، صرنا قادرين على سبر طبقات أدقّ من البنية، وهذا أكملَ فهمنا بدرجة كبيرة. غير أن الوصف عند كل خطوة يتّصف بأنه منطقي في حد ذاته. وإذا لم يكن كذلك -مثلًا إذا كان فهم حركة كرة البيسبول يتطلب فهم السلوك الكمي لجُسَيْماتها- لكان من الصعب رؤية كيف كنا سنحقّق تقدمًا على الإطلاق. لطالما هيمنت استراتيجية فرِّق تَسُد على عالم الفيزياء، وأدت إلى انتصارات مثيرة.

ثَمة دافع مهم بالقدر عينه يتمثّل في تجميع القصص الفردية داخل سرد سلس. بالنسبة إلى فيزياء الجُسَيْمات والمجالات، وصلت هذه التجميعة إلى أنقى صورها على يد كين ويلسون، وأدت إلى فوزه بجائزة نوبل العام 1982[7]. طور ويلسون إجراءً رياضيًا لتحليل المنظومات الفيزيائية عبر طيف من المسافات المختلفة -من نطاقات أصغر كثيرًا، مثلًا، من تلك التي يسبرها مصادم الهدرونات الكبير إلى المسافات الذرية الأكبر بكثير التي أمكن الوصول إليها منذ ما يزيد على قرن- ثم ربط القصص بشكل منهجي، موضحًا كيف تنقل كل قصة منها العبء السردي إلى القصة التالية عليها مع انتقال النطاق خارج مجالها المحدّد. وهذه الطريقة، المسمّاة مجموعة *التطبيع*، تقع في صميم الفيزياء الحديثة. وهي توضح كيف أن اللغة، والإطار المفاهيمي، والمعادلات المستخدمة لتحليل الفيزياء على أحد نطاقات المسافة تكون بحاجة إلى التغيُّر عندما نغير التركيز إلى نطاق مختلف. وعن طريق استخدامها لتطوير مجموعة متداخلة من

التوصيفات المتمايزة وتفصيل الكيفية التي يرشد بها كل توصيف التوصيفات الأخرى المتصلة به، استخلص الفيزيائيون تنبوءات تفصيلية أمكن التحقّق منها عبر الكثير من التجارب والمشاهدات.

وعلى الرغم من أن تقنية ويلسون مُصمَّمَة كي تتلاءم مع الأدوات الرياضية لفيزياء الجُسَيْمات الحديثة ذات الطاقة العالية (ميكانيكا الكم والصورة المُعمّمة منها، نظرية المجال الكمي)، فإن الإطار العام قابل للتطبيق على نطاق واسع. فهناك طرق عديدة لفهم العالم. وفي التنظيم التقليدي للعلوم، تتعامل الفيزياء مع الجُسَيْمات الأولية واتحاداتها المختلفة، والكيمياء مع الذرات والجزيئات، وعلم الأحياء مع الحياة. هذا التصنيف، الذي لا يزال قائمًا إلى اليوم لكنه كان أكثر هيمنة عندما كنت طالبًا، يوفّر تحديدًا معقولًا، وإن كان غير دقيق، للنطاقات التي تتناولها العلوم. لكن في الآونة الأخيرة، كلما زاد تعمق الباحثين في الدراسة، أدركوا بدرجة أكبر أن فهم نقاط الاتصال بين المجالات أمر ضروري. فالعلوم ليست منفصلة. وعندما يتحوّل التركيز من الحياة إلى الحياة الذكية، فإن المجالات الأخرى المتداخلة -اللغة والأدب والفلسفة والتاريخ والفن والخرافة والدين وعلم النفس وما إلى ذلك- تصبح أساسية في السرد الموضوعي. وحتى أشد المتمسكين بالاختزالية سيدركون أنه على الرغم من عبثية تفسير مسار كرة البيسبول من منظور الحركة الجزيئية، فسيكون من العبث بدرجة أكبر الاعتماد على هذا المنظور المجهري في تفسير ما يشعر به ضارب الكرة بينما يفرغ الرامي من رمي الكرة، ويَهدر الجمهور، وتقترب منه الكرة مسرعة. وبدلًا من ذلك فإن القصص التي تنتمي إلى مستوى أعلى، والتي تُروى بلغة التأمل البشري توفّر رؤية أعظم بكثير. ومع ذلك -وهذا أمر محوري هنا- من الضروري أن تتوافق هذه القصص الأنسب على المستوى البشري مع السرد الاختزالي. فنحن كائنات مادّية خاضعة لقوانين الفيزياء. لذا لن نجني الكثير من صخب الفيزيائيين الذين يصرّحون بأن إطارهم هو الإطار التوضيحي الأكثر جوهرية، أو من استهزاء دارسي الإنسانيات من غطرسة المنهج الاختزالي الجامح؛ إذ يجري الوصول إلى الفهم المُنقَّح عن طريق تضمين القصة التي يوردها كل مجال داخل سرد محكم بدقة[8].

في هذا الفصل سنلتزم بالمنظور الاختزالي، مع إدراك أن الفصول اللاحقة سوف تستكشف الحياة والعقل من منظور إنساني مكمِّل. وسنناقش هنا أصل المكونات الذرّية والجزيئية اللازمة للحياة، وأصل بيئة معينة واحدة -الأرض والشمس- اختلطت فيها هذه المكونات على النحو الصحيح كي تظهر الحياة وتزدهر، كما سنستكشف الوحدة العميقة للحياة على الأرض من خلال فحص بعض البنى والعمليات الفيزيائية المتناهية

الصغر المذهلة والمشتركة بين جميع الكائنات الحية[9]. وعلى الرغم من أننا لن نجيب على السؤال المتعلّق بأصل الحياة (إذ لا يزال لغزًا)، سنرى أن كل الحياة على الأرض يمكن إرجاعها إلى نوع واحد مشترك وحيد الخلية، ونحدّد بدقة ما سيحتاج علم أصل الحياة في نهاية المطاف إلى تفسيره. وهذا سيقودنا إلى دراسة الحياة من المنظور الديناميكي الحراري القابل للتطبيق على نطاق واسع، ذلك المنظور الذي تناولناه في الفصول السابقة، بحيث نوضح أن الكائنات الحية تجمعها علاقة قرابة وثيقة، ليس فقط بعضها مع بعض، ولكن مع النجوم والمحرّكات البخارية أيضًا: فما الحياة إلّا وسيلة أخرى يوظّفها الكون لتحرير إمكانيات الإنتروبيا الحبيسة داخل المادة.

لا أهدف إلى تقديم نظرة موسوعية، وإنما إلى تقديم ما يكفي من التفاصيل حتى تشعر بإيقاعات الطبيعة، والأنماط المتناغمة التي انطلقت من الانفجار الكبير إلى الحياة على الأرض.

أصل العناصر

إذا طحنت أي شيء كان على قيد الحياة سابقًا، وفكّكتَ آلاته الجزيئية المعقّدة، فستجد وفرة من الأنواع الستة نفسها من الذرات: الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والفوسفور والكبريت، وهي مجموعة من عناصر يتذكّرها الطلاب أحيانًا باختصار SPONCH، (ولا ينبغي الخلط بينه وبين كعك الخطمي المكسيكي الذي يحمل الاسم نفسه). من أين تأتي هذه المكوّنات الذرية الداعمة للحياة؟ يمثل الجواب الذي ظهر واحدة من قصص النجاح العظيمة في علم الكونيات الحديث.

مهما كانت الذرة معقّدة، فإن وصفة بنائها تتسم بأنها بسيطة ومباشرة؛ فكل ما عليك هو أن تضم العدد الصحيح من البروتونات مع العدد الصحيح من النيوترونات، ثم تجمعها معًا في كرة ضيقة (النواة)، ثم تحيطها بإلكترونات مساوية في العدد للبروتونات، وتحدّد للإلكترونات مدارات معينة تُمليها فيزياء الكم. هذا كل ما في الأمر. لكن يكمن التحدي في أن المكونات الذرّية، على عكس مكعبات الليجو، لا تتراكب معًا في سهولة، بل يدفع ويجذب بعضها بعضًا بقوة، مما يجعل تجميع النوى مهمة صعبة. تحتوي البروتونات، على وجه الخصوص، على الشحنة الكهربية الموجبة ذاتها، ومن ثم يتطلّب حشدها معًا ضغطًا ودرجة حرارة هائلين حتى تتغلّب على قوى التنافر الكهرومغناطيسي المتبادل بينها وتتقارب بما يكفي بحيث تهيمن القوة النووية الشديدة، وتثبّتها معًا في عناق دون ذَرّي قوي.

كانت الظروف القاسية في أعقاب الانفجار العظيم مباشرة أكثر تطرّفًا من أي شيء

حدث في أي مكان أو أي زمن، وبذا بدت هذه البيئة ملائمة للتغلب على قوى التنافر الكهرومغناطيسي وتجميع النوى الذرية. وداخل مزيج هائل الكثافة والنشاط من البروتونات والنيوترونات المتصادمة، قد تفترض أن التكتلات ستتشكل بصورة طبيعية، بحيث يتشكّل الجدول الدوري نوعًا ذريًّا واحدًا تلو الآخر. في الواقع، هذا ما اقترحه جورج جاموف (الفيزيائي السوفييتي الذي تضمّنت أولى محاولاته للفرار والانشقاق، في العام 1932، الإبحار بقارب كاياك مملوء في الغالب بالقهوة والشوكولاتة عبر البحر الأسود)، واقترحه كذلك طالب الدراسات العليا رالف ألفر في أواخر أربعينيات القرن العشرين.

كانا على حق جزئيًّا. وتمثّلت إحدى المشكلات التي أدركوها في أنه باللحظات الأولى كانت درجة حرارة الكون مرتفعة للغاية. فقد كان الفضاء مغمورًا بفوتونات نشطة للغاية كان من شأنها أن تفكّك أي اتحادات أولية من البروتونات والنيوترونات. لكنهما أدركا أيضًا أن الوضع تغيّر بعد نحو دقيقة ونصف، وهو وقت طويل بالقياس مع السرعة الخاطفة التي تطوّر بها الكون المبكر. وبحلول ذلك الوقت، انخفضت درجة الحرارة بما يكفي بحيث لم تعد طاقات الفوتونات النموذجية تطغى على القوة النووية الشديدة، وهو ما سمح أخيرًا باتحادات البروتونات والنيوترونات بالاستمرار.

المشكلة الثانية، التي أصبحت واضحة في ما بعد، هي أن بناء الذَرّات المعقّدة عملية دقيقة تتطلّب وقتًا. فهي تتطلّب سلسلة محددة للغاية من الخطوات التي يتم فيها دمج عدد محدد من البروتونات والنيوترونات معًا في كتل مختلفة، والتي تحتاج بعد ذلك إلى الالتقاء مصادفة بكتل معينة مكمِّلة لها، والاندماج معها أيضًا، وهكذا دواليك. وكما في وصفة الذواقة، فإن الترتيب الذي يتم فيه دمج المكونات حيوي. وما يجعل العملية صعبة تحديدًا هو أن بعض الكتل المتوسّطة غير مستقرة، ما يعني أنها بعد أن تتشكّل تميل إلى التفكك بسرعة، وهو ما يعطّل تجهيزات عملية الطهو ويبطئ التخليق الذري. وهذا العائق شديد الصعوبة لأن الانخفاض المطرد في درجة الحرارة والكثافة مع تمدد الكون المبكر بسرعة يعني ضمنيًّا أن نافذة فرصة الانصهار تُغلق بسرعة. وبعد مرور زهاء عشر دقائق من الانفجار العظيم، انخفضت درجة الحرارة والكثافة إلى ما دون العتبة المطلوبة للعمليات النووية[10].

عند التعبير كميًّا عن هذه الاعتبارات، على النحو الذي بدأه ألفر في أطروحة الدكتوراه وصقله العديد من الباحثين منذ ذلك الحين، نجد أنه في أعقاب الانفجار العظيم مباشرة جرى تخليق الأنواع الذرية القليلة الأولى فقط. وتمكننا الرياضيات من حساب الوفرة النسبية لها، وهي: نحو 75 في المائة هيدروجين (بروتون واحد)، 25 في

المائة هيليوم (بروتونان ونيوترونان)، وكميات ضئيلة من الديوتيريوم (شكل ثقيل من الهيدروجين، به بروتون واحد ونيوترون واحد)، والهيليوم3- (شكل خفيف من الهيليوم به بروتونان ونيوترون واحد)، والليثيوم (ثلاثة بروتونات وأربعة نيوترونات)[11]. وقد أكدت المشاهدات الفلكية التفصيلية للوفرة الذرية أن هذه النسب دقيقة، وهو انتصار للرياضيات والفيزياء في إلقاء الضوء على العمليات التفصيلية التي حدثت في غضون الدقائق القليلة التالية على الانفجار العظيم.

ماذا عن الذرات الأكثر تعقيدًا، مثل تلك الذرات الضرورية للحياة؟ تعود المُقترحات الخاصة بأصلها إلى عشرينيات القرن العشرين. وقد توصّل عالِم الفلك البريطاني السير آرثر إدينجتون (الذي يُشتهَر بأنه عندما سُئل عن شعوره باعتباره أحد ثلاثة أشخاص فقط يفهمون النسبية العامة لأينشتاين، أجاب: «أحاول أن أفكّر مَن قد يكون الشخص الثالث»). إلى الفكرة الصحيحة: قد تعد المناطق الداخلية الحارقة للنجوم بمنزلة بوتقات تُطهى فيها ببطء الأنواع الذرية الأكثر تعقيدًا. تبنى هذا الاقتراح الكثيرون من الفيزيائيين اللامعين، من بينهم الفيزيائي الحائز على جائزة نوبل هانز بيته (كان أول مكتب لي في الكلية مجاورًا لمكتبه، وكان بإمكاني أن أضبط ساعتي على عطسته القوية التي تصدر في الرابعة مساءً تمامًا)، وكذلك، وهو الأمر الأهم على الأرجح، فريد هويل (الذي عبّر في برنامج على راديو هيئة الإذاعة البريطانية العام 1949 عن رفضه لفكرة الكون الذي ظهر للوجود في «انفجار عظيم واحد»، ومن ثَم صاغ من دون قصد أحد أكثر المصطلحات بلاغة[12])، وهو ما حوّل الاقتراح إلى آلية فيزيائية ناضجة وتنبُّوئية.

مقارنةً بالتغيُّر السريع الخاطف الذي تبع الانفجار العظيم مباشرة، توفّر النجوم بيئات مستقرّة يمكنها أن تستمر لملايين السنين، إن لم يكن مليارات. يؤدّي عدم استقرار بعض الكتل الوسيطة إلى إبطاء عملية الانصهار في النجوم أيضًا، ولكن عندما يكون لديك الكثير من الوقت يظل بمقدورك إنجاز المهمة. لذلك، خلافًا للوضع مع الانفجار العظيم، لا تنتهي عملية التخليق النووي داخل النجوم بعد اندماج الهيدروجين لتشكيل الهيليوم. وستواصل النجوم الضخمة بما يكفي سحق النوى معًا، وإجبارها على الاندماج بحيث تشكل ذرّات الجدول الدوري الأكثر تعقيدًا، مع إنتاج الكثير من الحرارة والضوء في خضم هذه العملية. وعلى سبيل المثال، النجم الذي تبلغ كتلته عشرين مرة قدر كتلة الشمس سيقضي أول ثمانية ملايين عام من حياته في دمج الهيدروجين إلى هيليوم، ثم يكرّس المليون عام التالية لدمج الهيليوم إلى كربون وأكسجين. ومن هناك، مع ارتفاع درجة حرارة قلبه، تزداد سرعة العملية؛ بحيث يستغرق النجم نحو ألف عام لحرق مخزون الكربون داخله، ودمج ذراته إلى صوديوم

ونيون، وعلى مدار الشهور الستة التالية، ينتج المزيد من الاندماج ذرات المغنيسيوم، وفي غضون شهر آخر ينتج ذرات الكبريت والسيليكون، ثم في خلال عشرة أيام فقط يحرق الاندماج الذرّات المتبقية وينتج الحديد[13].

تتوقّف العملية عند الحديد، وذلك لسبب وجيه. فمن بين جميع الأنواع الذرية، ترتبط بروتونات الحديد ونيوتروناته بعضها ببعض في إحكام. وهذا أمر شديد الأهمية، لأنك إذا حاولت بناء أنواع ذرية أثقل من ذلك عن طريق حشد بروتونات ونيوترونات إضافية، فستجد أن نوى الحديد ليس لديها اهتمام كبير بالمشاركة. فقبضة القوة النووية الشديدة ضمت في إحكام بروتونات الحديد البالغ عددها ستة وعشرين بروتونًا مع نيوتروناته البالغ عددها ثلاثين نيوترونًا، وأطلقت بالفعل أكبر قدر ممكن من الطاقة. وتتطلّب إضافة البروتونات والنيوترونات مُدخلات صافية من الطاقة، لا مُخرجات. ونتيجة لذلك، عندما نصل إلى الحديد يتوقّف الإنتاج النجمي المنظم للذرات الأكبر والأكثر تعقيدًا، مع ما يصاحبه من إطلاق للحرارة والضوء. ومثل الرماد الذي سقط في موقد المدفأة، لا يمكن حرق الحديد أكثر.

ماذا إذًا عن كل الأنواع الذرية ذات النوى الأكبر، بما في ذلك العناصر النافعة كالنحاس والزئبق والنيكل، والمواد المفضّلة كالفضة والذهب والبلاتين، والمعادن الثقيلة الغريبة كالراديوم واليورانيوم والبلوتونيوم؟

حدّد العلماء مصدرين لهذه العناصر. عندما يتكوّن قلب النجم في الغالب من الحديد، فإن تفاعلات الاندماج لا تولّد الطاقة والضغط الدافعين إلى الخارج واللازمين لمعادلة قوة سحب الجاذبية إلى الداخل. وهنا يبدأ النجم بالانهيار على ذاته. إذا كان النجم ضخمًا بما يكفي، فإن هذا الانهيار يتسارع إلى انفجار داخلي يتسبّب من فرط قوته في رفع درجة حرارة القلب بصورة هائلة، وترتد المادّة الناتجة عن الانفجار الداخلي عن القلب وتسبّب موجة صدمة هائلة تندفع إلى الخارج. وبينما تنتقل موجة الصدمة من القلب نحو سطح النجم، فإنها تضغط النوى التي تصادفها بعنف شديد بحيث تتشكل تكتلات نووية أكبر. وفي عاصفة حركة الجُسَيْمات الفوضوية هذه يكون من الممكن تخليق كل أنواع العناصر الثقيلة في الجدول الدوري، وعندما تصل موجة الصدمة أخيرًا إلى سطح النجم فإنها تدفع مجموعة الذرات المتنوّعة هذه إلى الفضاء.

المصدر الثاني للعناصر الثقيلة هو التصادمات العنيفة بين النجوم النيوترونية، وهذه أجرام سماوية تنتج خلال سكرات موت النجوم التي تبلغ كتلتها تقريبًا بين عشر مرات وثلاثين مرة قدر كتلة الشمس. تتألف النجوم النيوترونية في الغالب من النيوترونات -وهي جزيئات حربائية يمكن أن تتحوّل إلى بروتونات- وهذا يفيد كثيرًا عملية بناء

النوى الذرية، إذ يكون لدينا وفرة من المواد الخام الصحيحة. ومع ذلك، تتمثل إحدى العقبات في أن النيوترونات تحتاج إلى تحرير نفسها من قبضة الجاذبية القوية للنجم من أجل تكوين نوى ذرية. وهنا يأتي دور الاصطدام بين النجوم النيوترونية. من الممكن أن يؤدي الاصطدام إلى دفع تيارات من النيوترونات، وهي جُسَيْمات متعادلة الشحنة الكهربية ومن ثَم لا تعاني من تأثير التنافر الكهرومغناطيسي، إلى الاتحاد بسهولة أكبر في مجموعات. وبعد أن يتحوّل بعض هذه النيوترونات إلى بروتونات (بحيث تطلق إلكترونات ونيوترونات مضادة في خضم هذه العملية)، نحصل على إمداد من النوى الذرية المعقّدة. في العام 2017، انتقلت تصادمات النجوم النيوترونية من كونها فرضية نظرية إلى حقيقة رصدية عندما رصد العلماء موجات الجاذبية التي تولّدها هذه التصادمات (التي أعقبت أولى موجات الجاذبية المكتشفة، والتي أُنتجَت عبر تصادم ثقبين من الثقوب السوداء). وقد حدّدت سلسلة من التحليلات أن تصادمات النجوم النيوترونية تنتج العناصر الأثقل بكفاءة ووفرة أكبر مما تفعل انفجارات المستعرات العظمى (السوبرنوفا)، ومن ثَم ربما تكون غالبية العناصر الثقيلة الموجودة في الكون قد تم إنتاجها بواسطة هذه التصادمات الفيزيائية الفلكية.

وسواء أُنتجَت هذه التشكيلة المتنوعة من الأنواع الذرية بواسطة عمليات الاندماج داخل النجوم ونفثتها انفجارات المستعرات العظمى، أو أطلقتها التصادمات النجمية وتجمّعت في أعمدة جُسَيْمية، فإنها تهيم عبر الفضاء، حيث تدور وتندمج في سحب كبيرة من الغاز، وبمرور الوقت تتجمّع هذه السحب مجدّدًا وتندمج على صورة نجوم وكواكب، وصولًا في النهاية إلى البشر. هذا هو أصل المكونات التي يتألف منها أي شيء وكل شيء واجهته.

أصل المجموعة الشمسية

تعد الشمس، بعمرها الذي يزيد قليلًا على أربعة مليارات ونصف المليار عام، وافدًا جديدًا على المشهد الكوني. فلم تكن الشمس ضمن الجيل الأول من النجوم في الكون. وقد رأينا في الفصل الثالث أن هذه النجوم الرائدة نشأت من التفاوتات الكمية في كثافة المادة والطاقة والتي تمدّدت عبر الفضاء بواسطة التمدّد التضخمي. وتكشف المحاكاة الحاسوبية لهذه العمليات أن النجوم الأولى اشتعلت بعد نحو مائة مليون عام من الانفجار العظيم، ولا يمكن وصف دخولها إلى المسرح الكوني إلّا بالأناقة. كانت النجوم الأولى على الأرجح شديدة الضخامة، إذ ناهزت كتلتها مئات أو ربما آلاف المرات قدر كتلة الشمس، واحترقت بشدة عظيمة إلى درجة أنها ماتت

بسرعة. وانتهت حياة أثقل النجوم فيها بانفجار داخلي جذبوي تسبّب من فرط شدته في انهيارها على ذاتها إلى أن أصبحت ثقوبًا سوداء، وهي تكوينات متطرّفة من المادة ستكون محور تركيزنا في وقت لاحق من رحلتنا. أما النجوم المبكرة الأقل ضخامة فأنهت حياتها في انفجارات مستعرات عظمى نارية تسبّبت، إلى جانب إثراء الفضاء بالذرات المعقّدة، في بدء الجولة التالية من تكوُّن النجوم. فمثلما تدمّر موجة الصدمة الصادرة عن المستعر الأعظم مكوناته الذرية، فإن موجة الصدمة التي تتردّد عبر الفضاء تضغط سحب المكونات الجزيئية التي تصادفها. ونظرًا إلى أن المناطق المضغوطة تكون أشد كثافة، فإنها تمارس قوة جاذبية أكبر على ما يحيط بها، ما يجذب المزيد من المكونات الجُسَيْمية ويدشن جولة جديدة من التراكم الناتج عن الجاذبية في الطريق إلى الجيل التالي من النجوم.

استنادًا إلى تركيبة الشمس -كميات العناصر الثقيلة المتنوّعة التي تحتوي عليها الآن، والمُحدّدة بواسطة القياسات الطيفية- يعتقد اختصاصيو الفيزياء الشمسية أن الشمس هي حفيدة أولى نجوم الكون، أي إنها تنتمي إلى الجيل الثالث. بيد أن هناك الكثير من عدم اليقين بشأن الموضع الذي تشكلت فيه الشمس في الأصل. إحدى المناطق المرشّحة التي خضعت إلى الدراسة هي منطقة تعرف بميسييه 67، وتبعد عنا نحو ثلاثة آلاف سنة ضوئية، وهي تحتوي على عنقود من النجوم التي تبدو تركيباتها الكيميائية مشابهة لتركيبة الشمس، ما يشير إلى تشابه عائلي قريب. ويتمثّل التحدي، الذي لم يتم حلّه بعد، في تفسير الكيفية التي خرجت بها الشمس وكواكب المجموعة الشمسية (أو القرص الكوكبي الأولي الذي ستتشكل منه الكواكب لاحقًا) من تلك الحضانة النجمية البعيدة وانتقلت بها إلى هنا. وتخلص بعض الدراسات حول المسارات المحتملة إلى أن من شبه المستحيل أن تكون المنطقة ميسييه 67 هي مسقط رأس الشمس، في حين أن البعض الآخر، الذي يستحضر افتراضات مُعدَّلة مختلفة، أسفر عن نتائج مشجعة بدرجة أكبر[14].

ما يمكننا قوله بثقة هو أنه قبل نحو 7 , 4 مليار عام كانت ثمة موجة صدمة صادرة عن مستعر أعظم تشق طريقها على الأرجح عبر سحابة تحتوي على الهيدروجين والهيليوم وكميات صغيرة من الذرات الأكثر تعقيدًا، وهو ما سبَّب انضغاط جزء من السحابة، فصار هذا الجزء أكثر كثافة من الأجزاء الأخرى المحيطة، وبالتبعية بذل قوة جاذبية أقوى، وبدأ في جذب المادة إلى الداخل. وعلى مدار بضع مئات الآلاف من الأعوام التالية، واصلت هذه المنطقة من سحابة الغاز الانكماش، وكانت تدور ببطء في البداية ثم أخذت تدور بسرعة أكبر، مثل متزلّجة رشيقة تضم ذراعيها إلى جانبيها أثناء الدوران حول نفسها. ومثلما تتعرّض المتزلجة التي تدور حول نفسها إلى قوة جذب خارجية

(تتسبب في تطويح أي قصاصات فضفاضة في زيها)، حدث الأمر نفسه للسحابة التي تدور حول نفسها، إذ انتشرت وانبسطت مناطقها الخارجية على صورة قرص دوّار أحاط بمنطقة كروية أصغر في القلب. وخلال فترة تتراوح بين خمسين إلى مائة مليون عام تالية، أدت سحابة الغاز نسخة بطيئة وثابتة من رقصة الجاذبية والإنتروبيا الثنائية التي ناقشناها في الفصل الثالث: إذ ضغطت قوة الجاذبية على القلب الكروي، الذي زادت سخونته وكثافته أكثر وأكثر، بينما بردت المادة المحيطة وترقّقت. انخفضت إنتروبيا القلب، بينما عادلت إنتروبيا المناطق المحيطة ذلك الانخفاض بزيادة تعويضية. وفي النهاية، تجاوزت درجة حرارة القلب وكثافته عتبة إشعال فتيل الاندماج النووي.

وهكذا وُلدت الشمس.

وخلال ملايين الأعوام القليلة التالية، تجمع الفتات المتخلّف عن عملية تكوُّن الشمس، والذي لا يتجاوز بضعة أعشار فقط من الكسر المئوي من القرص الدوَّار الأصلي، بواسطة العديد من عمليات التراكم الجَذبوية وهو ما أدى إلى تكوين كواكب المجموعة الشمسية. بالنسبة إلى المواد الأخف وزنًا والأكثر تطايرًا -مثل الهيدروجين والهيليوم وكذلك الميثان والأمونيا والمياه- والتي يسبّب الإشعاع الشمسي القوي اضطرابها، فقد تراكمت بصورة أكثر وفرة في المناطق الخارجية الأكثر برودة في المجموعة الشمسية، وشكّلت الكواكب الغازية العملاقة: المشتري وزحل وأورانوس ونبتون. أما المكونات الأثقل والأشد متانة، مثل الحديد والنيكل والألومنيوم، والتي صمدت بشكل أفضل في البيئة الأكثر حرارة بالقرب من الشمس، فقد اندمجت معًا مُشَكِّلةً الكواكب الداخلية الصخرية الأصغر: عطارد والزهرة والأرض والمريخ. ونظرًا إلى أن الكواكب أقل كتلة بكثير من الشمس، فإنها قادرة على دعم وزنها المتواضع من خلال مقاومة الذرات الذاتية للضغط. ترتفع درجات الحرارة والضغوط داخل قلوب الكواكب، لكنها لا تقترب البتة من المستويات اللازمة لإشعال فتيل الاندماج النووي، ما يؤدّي إلى البيئات المعتدلة نسبيًا التي تدين لها الحياة -بالتأكيد شكل الحياة الخاص بنا وربما كل أشكال الحياة في الكون- بالكثير من الامتنان.

الأرض اليافعة

يشار إلى النصف مليار عام الأولى من عمر الأرض باسم الدهر الجهنمي (Hadean period)، في إشارة إلى إله العالم السفلي الإغريقي Hades، وذلك للدلالة على مرور الأرض بحقبة جهنمية من البراكين الهائجة والصخور المنصهرة المتدفّقة وأبخرة الكبريت والسيانيد السميكة السامة. لكن بعض العلماء يشكون الآن في أن بوسيدون

ربما يكون الإله المفضّل كي يكون رمزًا للأرض اليافعة. لا يزال هذا التغيير العميق محل نقاش، وهو قائم على أدلة لا تزيد في حجمها على ذرّة غبار. وعلى الرغم من افتقارنا إلى عينات صخرية من تلك الحقبة المبكرة، فقد حدّد الباحثون ذرات غبار شفافة قديمة -تسمى بلورات الزركون- تشكّلت عندما بردت الحمم المنصهرة في الأرض المبكرة وتصلبت. تلعب بلورات الزركون دورًا محوريًا في فهم التطور المبكر للأرض، ليس فقط لأنها غير قابلة للتدمير تقريبًا، وقادرة على تحمّل العوامل الجيولوجية القاسية لمليارات الأعوام، ولكن لأنها تعمل أيضًا عمل كبسولات زمنية مصغرة. فعندما تتشكّل بلورات الزركون فإنها تحتجز داخلها عينات جزيئية من البيئة، ونستطيع تحديد أعمارها بواسطة التأريخ الإشعاعي التقليدي. ومن خلال التحليل الدقيق للشوائب الموجودة في بلورات الزركون فإننا نحصل على عينة من الظروف السائدة في حقبة الأرض القديمة.

اكتُشفَت في غرب أستراليا بلورات زركون يرجع تاريخها إلى 4,4 مليار عام مضت، أي بعد تشكُّل الأرض والمجموعة الشمسية ببضع مئات قليلة من ملايين الأعوام. وعن طريق تحليل تكوينها التفصيلي، اقترح الباحثون أن الظروف القديمة ربما كانت أكثر ملاءمة مما كان يُعتقد سابقًا. فربما كانت الأرض المبكرة عالمًا مائيًا هادئًا نسبيًا، ترصّع فيه كتل أرضية صغيرة سطحًا مُغطى في الغالب بالمحيط[15].

لا يعني هذا أن تاريخ الأرض لم توجد فيه لحظات من الدراما المشتعلة. فبعد نحو خمسين إلى مائة مليون عام من مولدها، ضُربَت الأرض على الأرجح بكوكب في حجم المريخ يُسمّى ثيا، وتسبّب الاصطدام في تبخير قشرة الأرض، وتدمير ثيا تمامًا، ونَفث سحابة من الغبار والغاز على بعد آلاف الكيلومترات في الفضاء. ومع مرور الوقت تكتلت هذه السحابة نتيجة تأثير الجاذبية وشكلت القمر، وهو يعَدّ أحد أكبر الأقمار في المجموعة الشمسية، ويذكّرنا وجوده ليلًا بذلك اللقاء العنيف. ثمة تذكير آخر يأتينا من المواسم. فنحن نشعر بفصول الصيف الحارّة وفصول الشتاء الباردة لأن محور الأرض المائل يؤثّر على زاوية ضوء الشمس القادم إليها، حيث تسقط أشعة الشمس بشكل مباشر في الصيف وبشكل مائل في الشتاء. ويعد التصادم مع ثيا هو السبب المرجّح لميل الأرض. كما مرّت الأرض والقمر بفترات من القصف العنيف بالنيازك الأصغر، وإن كانت لا ترقى إلى مستوى التصادمات الكوكبية. وقد ظل القمر محتفظًا بالندوب بسبب افتقاره إلى الرياح المسبّبة للتعرية وبسبب قشرته الثابتة، وكان القصف الذي تعرضت له الأرض لا يقل عن ذلك الذي تعرّض له القمر من حيث الشدّة، غير أنه أقل وضوحًا الآن. ربما تكون بعض التصادمات المبكرة قد بخّرت، جزئيًا أو حتى

كليًا، كل الماء الموجود على سطح الأرض. وعلى الرغم من ذلك، تقدّم أرشيفات الزركون دليلًا على أن الأرض، في غضون بضع مئات ملايين الأعوام من تشكّلها، ربما تكون قد بردت بما يكفي بحيث تساقط البخار الموجود في الغلاف الجوي، وامتلأت المحيطات، ونتجت تضاريس لا تختلف تمامًا عن الأرض التي نعرفها الآن. على الأقل، هذا ما ذهب إليه أحد الاستنتاجات المُستخلصة من قراءة البلورات.

إن المدة اللازمة لكي تهدأ الأرض وتستقرّ وتستضيف وفرة من المياه- سواء أكانت مئات الملايين من الأعوام أو أكثر من ذلك بكثير- لا تزال محل جدل محتدم، لأنها تتعلّق مباشرة بمسألة التوقيت الذي ظهرت فيه الحياة الجيولوجية للمرة الأولى. وفي حين أنه من قبيل المبالغة الشديدة أن نقول إنه حيثما وُجد الماء السائل وُجدَت الحياة، يمكننا أن نقول في ثقة إنه في غياب الماء السائل تغيب الحياة، على الأقل نوع الحياة الذي نعرفه.

دعونا نرى أسباب ذلك.

الحياة وفيزياء الكم والماء

يعَدّ الماء إحدى المواد المألوفة بدرجة كبيرة في الطبيعة وأهمها كذلك. وقد أصبح تركيبه الجزيئي H_2O يمثل للكيمياء ما تمثّله معادلة أينشتاين $E = mc^2$ للفيزياء، الصيغة الأشهر في المجال. ومن خلال الاستفاضة في تلك الصيغة، نحصل على نظرة ثاقبة لخصائص الماء المميزة، ونطوّر بعض الأفكار الرئيسية في برنامج شرودنجر لفهم الحياة على مستوى الفيزياء والكيمياء.

بحلول منتصف عشرينيات القرن العشرين، كان باستطاعة العديد من علماء الفيزياء البارزين على مستوى العالم الشعور بأن النظام المقبول يوشك على التعرض لاضطراب جذري. كانت التنبوءات القائمة على أفكار نيوتن الخاصة بحركة الكواكب المدارية والصخور الطائرة قد أرست المعيار الذهبي للدقة، غير أنها فشلت فشلًا ذريعًا عند تطبيقها على الجُسَيْمات الدقيقة كالإلكترونات. ومع ظهور البيانات العنيدة من العالم المتناهي الصغر، أضحت البحار الهادئة للفهم النيوتوني مضطربة. وسرعان ما وجد الفيزيائيون أنفسهم يجاهدون من أجل الاستمرار. وبينما كان فيرنر هايزنبرج يسير من دون هُدى في متنزه فارغ في كوبنهاجن بعد ليلة مرهقة من الحسابات المكثفة مع نيلز بور، لخّص الوضع جيدًا قائلًا: «هل يمكن أن تكون الطبيعة عبثية كما بدت لنا في هذه التجارب الذرية؟»[16]. كانت الإجابة نعم مدوية، وجاءت في العام 1926 من فيزيائي ألماني متواضع يُدعى ماكس بورن، الذي كسر الجمود المفاهيمي من خلال استحداث

نموذج كمّي جديد جذريًا. وقد ذهب بورن إلى أن الإلكترون (أو أي جُسَيْم) لا يمكن وصفه إلّا من حيث احتمالية العثور عليه في موضع ما. وبضربة واحدة، أفسح العالم النيوتوني المألوف الذي تكوّن للأجسام فيه مواضع محدّدة دائمًا المجالَ أمام واقع كمّي ربما يوجد فيه الجُسَيْم هنا أو هناك أو في مكان آخر تمامًا. وهكذا فإن عدم اليقينَ المتأصّل في مخطط احتمالي كان بعيدًا كل البعد عن الفشل، وكشف عن سمة جوهرية للواقع الكمّي ظلّت محل تجاهل لفترة طويلة من جانب الإطار النيوتوني الحدسي بدرجة كبيرة ولكن غير المصقول بشكل واضح. فقد بنى نيوتن معادلاته على العالم الذي بمكنه رؤيته. وبعد بضع مئات من الأعوام، علمنا أن هناك واقعًا غير متوقّع يقع فيما وراء مُدركاتنا البشرية الهشّة.

جاء اقتراح بورن مصحوبًا بدقة رياضية[17]. وقد أوضح أن ثمة معادلة نشرها شرودنجر قبل بضعة أشهر يمكن استخدامها للتنبؤ بالاحتمالات الكمية. كان هذا خبرًا مفاجئًا لشرودنجر، وللجميع أيضًا. ولكن بينما اتبع العلماء توجيه بورن، وجدوا أن الحسابات الرياضية ناجحة. بصورة مذهلة. فالبيانات التي صُنِّفَت في ما سبق تحت قواعد ارتجالية أو استعصت على التفسير بالكامل صار من الممكن فهمها أخيرًا من خلال تحليلات رياضية منهجية.

عند تطبيق المنظور الكَمي على الذرات فإنه يتخلّص من «نموذج المجموعة الشمسية» القديم، الذي وفقه تدور الإلكترونات في مدارات حول النواة مثلما تدور الكواكب حول الشمس. وبدلًا من هذا، تُصَوِّر ميكانيكا الكم الإلكترون على أنه سحابة غائمة تحيط بالنواة وتشير كثافتها في أي مكان إلى احتمالية العثور على الإلكترون هناك. وهكذا، من المحتمل بدرجة أقل أن يُعثَر على الإلكترون في المواضع التي تكون سحابة الاحتمالية فيها رقيقة، ومن المحتمل بدرجة أكبر أن يُعثَر عليه في المواضع التي تكون سحابة الاحتمالية فيها سميكة.

تعبر معادلة شرودنجر عن هذا الوصف بصورة رياضية صريحة؛ إذ تحدّد شكل وكثافة سحابة الاحتمالية الخاصة بالإلكترون، كما تُملي عدد إلكترونات الذرة التي يمكن لكل سحابة استيعابها، وهو الأمر المحوري بالنسبة إلى بحثنا الحالي[18]. سريعًا ما تكتسب التفاصيل الصبغة الفنية المتخصّصة، ولكن من أجل استيعاب السمات الأساسية، فكر في نواة الذرة كخشبة مسرح مركزية وفي إلكتروناتها كجمهور يشاهد العرض من مقاعد موزّعة على مدرجات محيطة، مرتبة بصورة دائرية حول المسرح. في هذا «المسرح الكمي» تُملي حسابات شرودنجر الرياضية المُطبّقة على الذرات الكيفية التي يملأ بها جمهور الإلكترونات المقاعد.

كما قد تتوقّع من واقع تجربتك في صعود السلالم في المسرح الحقيقي، كلما ارتفع المدرج، زادت الطاقة التي يحتاجها الإلكترون للوصول إليه. لذا عندما تكون الذرة هادئة بأكبر قدر ممكن، أي في أدنى ترتيبات الطاقة الخاصة بها، تتصرّف إلكتروناتها كجمهور شديد التنظيم، ولا تملأ أي مدرج أعلى إلّا إذا كانت المدرجات الدنيا مشغولة بالكامل. فمع امتلاك الذرة الحد الأدنى من الطاقة، لا يصعد أي إلكترون أعلى مما ينبغي عليه. كم عدد الإلكترونات التي يمكن أن يحملها كل مدرج؟ تقدّم رياضيات شرودنجر الإجابة، وتمنحنا قاعدة معيارية عالمية تنطبق على كل المسارح الكمية، وهي: يُسمَح بإلكترونَيْن فقط كحد أقصى في المستوى الأول، وثمانية إلكترونات في المستوى الثاني، وثمانية عشر في المستوى الثالث، وهكذا دواليك، على النحو الذي تحدّده المعادلة. وإذا ارتفعت طاقة الذرة، مثلًا عن طريق توجيه شعاع ليزر قوي نحوها، فقد تمتلك بعض الإلكترونات طاقة كافية تمكّنها من القفز إلى مستوى أعلى، غير أن هذا النشاط سيدوم لفترة قصيرة؛ إذ تعود هذه الإلكترونات المُثارة بسرعة إلى مستواها الأصلي، وتنبعث منها طاقة (تحملها الفوتونات)، وتعود الذرة إلى ترتيبها الأكثر هدوءًا[19].

تكشف الحسابات الرياضية أيضًا عن خاصّية غريبة أخرى، نوع من الوسواس القهري الذرّي الذي يعد المحرك الأساسي للتفاعلات الكيميائية في جميع أنحاء الكون. تنفر الذرات من امتلاك مستويات مملوءة بالإلكترونات بشكل جزئي فقط. المستويات فارغة؟ لا بأس. المستويات ممتلئة؟ لا بأس. لكن المستويات ممتلئة جزئيًا؟ هذا يقود الذرات إلى الجنون. بعض الذرات محظوظة، إذ تمتلك العدد الصحيح من الإلكترونات الذي يحقّق لها الامتلاء بمفردها. تحتوي ذرة الهيليوم على إلكترونين، يعادلان الشحنة الكهربية للبروتونين الموجودين في نواتها، وهذان الإلكترونان يملآن المستوى الأول من دون عناء. تحتوي ذرة النيون على عشرة إلكترونات، تعادل الشحنة الكهربية لبروتوناتها العشرة، ومن ثم يمتلئ المستوى الأول بإلكترونين، ثم يمتلئ المستوى الثاني بالثمانية إلكترونات المتبقية. ولكن بالنسبة إلى جُل الذرات، فإن عدد الإلكترونات اللازم لتحقيق التوازن مع عدد البروتونات لا يملأ مجموعة كاملة من المستويات[20].

ماذا تفعل إذًا؟

تُجري الذرات عمليات مقايضة مع ذرات عناصر أخرى. فإذا كانت الذرة تحتاج في مستواها الأعلى إلى إلكترونين إضافيين، وثمة ذرة أخرى تمتلك إلكترونين في مستواها الأخير، عندئذ إذا تبرّعت الذرة الثانية بالإلكترونين، سيتحقّق الإشباع لكلتا الذرتين؛ إذ يؤدّي التبرع إلى وجود مستويات كاملة في كلتيها. لاحظ أيضًا أنه من خلال قبول الإلكترونات، ستكتسب الذرة الأولى شحنة كلية سالبة، ومن خلال التبرع

بإلكترونين، ستكتسب الذرة الثانية شحنة كلية موجبة؛ وبما أن الأضداد تتجاذب، ستتّحد الذرتان في جزيء محايد كهربائيًا. وبالمثل، إذا كانت كلتا الذرّتين تحتاجان إلى إلكترون إضافي لملء المستويات العليا، يمكن عقد صفقة من نوع مختلف: إذ يمكن لكل ذرة منهما التبرّع بإلكترون واحد تتشاركه مع الأخرى، وبهذا يتحقّق الإشباع مجدّدًا لكلتا الذرتين، ومن خلال رابطة الإلكترونات المشتركة تتحد الذرتان مجددًا في جزيء محايد كهربائيًا. هذه العمليات، التي تملأ مستويات الإلكترونات عن طريق ربط الذرات معًا، هي ما نعنيه بالتفاعلات الكيميائية. وهي توفّر القالب لمثل هذه التفاعلات هنا على الأرض، وداخل المنظومات الحية، وفي جميع أنحاء الكون.

يعد الماء مثالًا مهمًا في هذا الصدد. يحتوي الأكسجين على ثمانية إلكترونات، إلكترونان في المستوى الأول وستة إلكترونات في المستوى الثاني، ومن ثَم يسعى الأكسجين إلى اكتساب إلكترونين آخرين، من أجل ملء مستواه الثاني إلى الحد الأقصى البالغ ثمانية إلكترونات. أحد المصادر المتاحة بسهولة هو الهيدروجين. تحتوي كل ذرة هيدروجين على إلكترون واحد منفرد في المستوى الأول. وإذا أُتيحت لذرة الهيدروجين فرصة ملء هذا المستوى بإلكترون آخر فستكون سعيدة. لذا يوافق الهيدروجين والأكسجين على التشارك في زوج من الإلكترونات، مما يشبع الهيدروجين تمامًا ويكون الأكسجين على بُعد إلكترون واحد من النعيم المداري. وإذا قمت بتضمين ذرة هيدروجين ثانية تشترك بالمثل في زوج من الإلكترونات المشتركة مع الأكسجين، سيكون الكل سعيدًا. يؤدّي تشارك هذه الإلكترونات إلى ارتباط ذرة الأكسجين بذرتيّ الهيدروجين، ما يؤدّي إلى ظهور جزيء الماء H_2O.

الشكل الهندسي لهذا الاتحاد له تبعات بعيدة المدى. تعمل عمليات الشد والجذب بين الذرّات على تشكيل كل جزيئات الماء على شكل حرف V عريض، بحيث تستقرّ ذرة الأكسجين عند الرأس السفلي وتقبع كل ذرة هيدروجين عند أحد الطرفين العلويين. وعلى الرغم من أن جزيء الماء ليس له شحنة كهربية كلية، فنظرًا إلى هوس الأكسجين الشديد بملء مستوياته المدارية، فإنه يكدّس الإلكترونات المشتركة، مما يؤدي إلى توزيع غير متوازن للشحنة عبر الجزيء، فيكون رأس الجزيء، موضع ذرة الأكسجين، ذا شحنة كلية سالبة، في حين أن الطرفَيْن العلويَّيْن، اللذين تستقر فيهما ذرتا الهيدروجين، لهما شحنة كلية موجبة.

قد يبدو توزيع الشحنة الكهربية عبر جزيء الماء تفصيلة غير ذات أهمية. لكنها ليست كذلك؛ إذ يتضح أن هذا التوزيع ضروري لظهور الحياة. فبسبب التوزيع غير المتوازن للشحنة عبر جزيء الماء، يستطيع الماء أن يذيب كل شيء تقريبًا. فرأس الأكسجين

السالبة الشحنة تمسك بأي شيء له شحنة موجبة ولو طفيفة، بينما طرفا الهيدروجين الموجبا الشحنة يمسكان بأي شيء له شحنة سالبة ولو طفيفة. ومعًا، تعمل أطراف جُزيء الماء مثل المخالب المشحونة التي تفكّك أي شيء تقريبًا يُغمر فيه لفترة كافية.

ملح الطعام هو المثال الأكثر شيوعًا. يتكون جُزيء ملح الطعام من ذرة صوديوم مرتبطة بذرة كلور، وله شحنة موجبة طفيفة بالقرب من الصوديوم (الذي يتبرّع بإلكترون إلى الكلور) وشحنة سالبة طفيفة بالقرب من الكلور (الذي يقبل إلكترونًا من صوديوم). وإذا أسقطت الملح في الماء، فإن جانب الأكسجين (السالب الشحنة) من جزيء الماء سيمسك بالصوديوم (الموجب الشحنة)، بينما يمسك جانب الهيدروجين (الموجب الشحنة) من جزيء الماء بالكلور (السالب الشحنة)، وهو ما يمزق جزيئات الملح إربًا ويحولها إلى محلول. وما ينطبق على الملح ينطبق بالمثل على الكثير من المواد الأخرى أيضًا. تتباين التفاصيل، غير أن توزيع الشحنة غير المتوازن لجُزيء الماء يجعله مُذيبًا خارقًا. وإذا غسلت يديك، حتى من دون صابون، ستعمل قطبية الماء الكهربية بكل جد، وتذيب أي مواد غريبة وتحملها بعيدًا.

إلى جانب أهمية الماء في النظافة الشخصية فإن قدرة الماء على الإمساك بالمواد وتفكيكها لا غنى عنها للحياة. إن الأجزاء الداخلية للخلايا عبارة عن مختبرات كيميائية مصغرة يتطلّب عملها الحركة السريعة لمجموعة كبيرة من المكونات: إذ تدخل المغذيات، وتخرج الفضلات، وتختلط المواد الكيميائية لتخليق المواد المطلوبة لعمل الخلية، وما شابه ذلك من أمور. يجعل الماء كل هذا ممكنًا. فالماء، الذي يشكل نحو 70 في المائة من كتلة الخلية، هو السائل الناقل للحياة. وقد لخص ألبرت سنت جورجي، الحائز على جائزة نوبل، ذلك ببلاغة قائلًا: «الماء هو مادة الحياة ومصفوفتها، إنه الأم والوسيط. فلا حياة من دون ماء. وقد استطاعت الحياة أن تغادر المحيط عندما تعلّمت كيف تنمّي جلدًا، حقيبةً تأخذ الماء معها. فما زلنا نعيش في الماء، لكننا نمتلك الماء الآن في دواخلنا»[21]. من منظور الشعر، هذه قصيدة رشيقة تتغنّى بالماء والحياة. لكن من منظور العلم، لا توجد حتى الآن حجة تثبت صحة هذا التصريح على المستوى الكوني، بيد أننا لا نعرف أي شكل من أشكال الحياة يخالف ضرورة الماء.

وحدة الحياة

أما وقد استعرضنا تركيب الذرّات البسيطة والمعقّدة، وأصل الشمس والأرض، وطبيعة التفاعلات الكيميائية وضرورة الماء، صرنا الآن جاهزين للتحوّل إلى الحياة نفسها. وفي حين أنه قد يبدو من الطبيعي أن نبدأ بأصل الحياة، إلّا أن هذا الموضوع،

غير المحسوم إلى الآن، من الأفضل تناوله بعد استكشاف الصفات الجزيئية الجوهرية للحياة نفسها. وبالنسبة إلى شخص مثلي، أمضى الثلاثين عامًا الماضية في محاولة التوصل إلى نظرية موحّدة لقوى الطبيعة الأساسية، فإن مثل هذا الاستكشاف يكشف عن وحدة بيولوجية مذهلة. نحن لا نعرف العدد الدقيق للأنواع المتمايزة على الأرض، من الميكروبات إلى خراف البحر، غير أن الدراسات قدمت تقديرات تتراوح من الملايين، في أدناها، إلى التريليونات، في أعلاها. وبصرف النظر عن الرقم الدقيق، فهو ضخم. ومع ذلك، فإن ثروة الأنواع المختلفة تعطي فكرة خاطئة عن الطبيعة الموحدة لآليات العمل الداخلية للحياة.

إذا فحصت الأنسجة الحية بدقّة كافية، ستقابل «كَمّات» الحياة -ونعني بهذا الخلايا- وهي أصغر وحدات الأنسجة التي نصِفها بأنها حية. وبصرف النظر عن مصدر الخلايا فإنها تشترك في العديد من السمات بحيث يصعب كثيرًا على العين غير المدرّبة التي تفحص عيّنات فردية أن تميِّز الفأر من كلب الدرواس، أو السلحفاة من الرتيلاء، أو الذبابة المنزلية من الإنسان. هذا أمر مذهل. يجب بالتأكيد أن تُظهِر خلايانا بصمة مميزة واضحة ومهمة. لكنها لا تفعل. وسبب ذلك، الذي تم إثباته خلال العقود القليلة الماضية، هو أن جميع أشكال الحياة المعقدة المتعددة الخلايا تنحدر من أسلاف الأنواع الوحيدة الخلية نفسها. فالخلايا متشابهة لأن سلالاتها تتشعب من نقطة البداية عينها[22].

هذا إدراك مؤثر. فقد كان من الممكن أن تمتلك الحياة، بتجسيداتها الشديدة الوفرة، الكثيرَ من الأصول المتمايزة. وكان من الممكن أن يؤدّي تتبّع نسب الرخويات البحرية إلى أصلها إلى الكشف عن نقطة بدء واحدة، بينما يؤدّي فعل الشيء نفسه بالنسبة إلى الومبات أو نبات السحلبية إلى الكشف عن أصول مختلفة. بيد أن الأدلة تشير بقوة إلى أنه في ما يتعلق بالبحث عن أصل الحياة، تتلاقى الأنساب في سلف مشترك. ثمة خاصيتان شائعتا الوجود في الحياة تجعلان هذه الحجة أكثر إقناعًا. وتوضح كل منهما القواسم العميقة التي تتشاركها كل الكائنات الحية. الخاصية الأولى، والأكثر ألفة، هي *المعلومات*: أي كيف تقوم الخلايا بتشفير واستخدام المعلومات التي توجّه الوظائف الداعمة للحياة. والخاصية الثانية، التي تتّسم بالقدر نفسه من الأهمية لكنها أقل شهرة، تتعلّق *بالطاقة*: أي كيف تسخر الخلايا، وتخزِّن وتوظِّف، الطاقة المطلوبة لتنفيذ الوظائف الداعمة للحياة. وسنرى في كلتا الحالتين أنه عبر النطاق الواسع المذهل للحياة على الأرض، تتسم العمليات التفصيلية بأنها متطابقة.

من الطرق التي ندرك بها أن الأرنب حي هي رؤيته وهو يتحرك. يمكن للصخرة أن تتحرك أيضًا، بطبيعة الحال؛ إذ يمكن لتيار نهر قوي أن يدفعها في اتجاه مجرى النهر، أو يمكن لثوران بركاني أن يطلقها باتجاه السماء. الفرق هو أن حركة الصخرة يمكن فهمها بالكامل، بل والتنبؤ بها، اعتمادًا على القوى الخارجية التي تؤثر عليها. فإذا أخبرتني بمعلومات كافية عن التيار أو الثوران، سأتمكن من التنبؤ بدرجة معقولة من الدقة بما سيحدث بعد ذلك. أما التنبؤ بحركة الأرنب فهو أمر أصعب؛ إذ يُعتبر النشاط داخل ما أسماه شرودنجر «الحدود المكانية» للأرنب -أي نشاطه الداخلي- عاملًا حاسمًا في حركته. يحرك الأرنب أنفه، ويدير رأسه، ويدوس على الأرض بقوائمه، وكل هذا يجعله يبدو وكأن لديه إرادة خاصة به. إن مسألة ما إذا كان للأرنب، أو أي شكل من أشكال الحياة (بما في ذلك نحن)، مثل هذه الإرادة المستقلة، خضعت للنقاش على مدار قرون، وسنتناولها في الفصل التالي، لذا دعونا لا نخوض فيها هنا. وفي الوقت الحالي، يمكننا جميعًا أن نتّفق على أنه في حين أن النشاط داخل الصخرة ليس له أي تأثير فعليًا على الحركة التي نرصدها، فإن حركات الأرنب المنسقة والمعقّدة والموجهة ذاتيًا توضح لنا أنه حي.

ليس هذا تشخيصًا مضمونًا؛ إذ تستطيع المنظومات المؤتمتة تنفيذ حركة من نوع مماثل بشكل عام، وفي ضوء استمرار التقدّم التكنولوجي، ستصبح القدرة على محاكاة الحياة أدق. غير أن هذا لا يؤدي إلّا إلى التأكيد على النقطة الأكبر: إن الحركة من النوع الذي نفكر فيه تنشأ من التفاعل بين المعلومات والتنفيذ، أي بين ما قد نسميه البرمجيات والعتاد المادي. في حالة المنظومة المؤتمتة، يكون الوصف حرفيًا. إن الطائرات المُسَيَّرة والسيارات ذاتية القيادة ومكانس الرومبا محكومة ببرامج تأخذ البيانات البيئية كمُدخلات بينما تتمثّل المخرجات في الاستجابة التي تنفّذها الأجهزة الموجودة على متنها، من الأجنحة إلى الدوّارات إلى العجلات. أما في حالة الأرنب، يكون الوصف مجازيًا. ومع ذلك، يعد نموذج البرمجيات والعتاد المادي طريقة مفيدة بشكل خاص للتفكير في الحياة أيضًا. يجمع الأرنب البيانات الحسّيَّة من البيئة، ثم يعالجها بواسطة «كمبيوتر عصبي» (دماغه)، والذي يرسل إشارات محملة بالمعلومات إلى المسارات العصبية -كُل رقعة البرسيم، أو اقفز فوق الأغصان المتساقطة، وما إلى ذلك- بحيث يولِّد أفعالًا جسدية. وتنشأ حركة الأرنب من المعالجة الداخلية ونقل مجموعة معقّدة من التعليمات التي تتدفّق عبر بنيته المادية: فالبرمجيات البيولوجية تقود العتاد البيولوجي المادي. وهذه العمليات غير موجودة بالمرة في حالة الصخرة.

إذا تعمّقنا في خلية واحدة من خلايا الأرانب سنقابل مجموعة شبيهة من الأفكار التي تتجسد على نطاق أصغر. يتم تنفيذ جُل وظائف الخلية بواسطة البروتينات، وهي جزيئات كبيرة تحفز التفاعلات الكيميائية وتنظمها وتنقل المواد الأساسية وتتحكّم في الخصائص التفصيلية مثل شكل الخلية وحركتها. تُبنى البروتينات من توليفة من عشرين وحدة فرعية أصغر، تُسمى *الأحماض الأمينية*، بنفس الطريقة التي تتكون بها الكلمات الإنجليزية من توليفات متنوّعة لستة وعشرين حرفًا. ومثلما تتطلّب الكلمات ذات المعنى ترتيب الحروف بنظام معين، فإن البروتينات القابلة للاستخدام تتطلب ربط الأحماض الأمينية في تسلسلات محدّدة. وإذا تُركَت عملية التجميع هذه للصدفة العمياء، فإن احتمال تقابل حمض أميني أساسي بحمض آخر بالطريقة الصحيحة من أجل بناء بروتين معيّن لن يزيد عن الصفر. والعدد الهائل من الطرق التي يمكن من خلالها ربط عشرين حمضًا أمينيًا متمايزًا في سلسلة طويلة يجعل هذا واضحًا: ففي حالة سلسلة تحتوي على مائة وخمسين حمضًا أمينيًا (بروتينًا صغيرًا)، يوجد زهاء 10^{195} ترتيبات مختلفة، وهو عدد أكبر بكثير من عدد الجُسَيْمات في الكون القابل للرصد. ومثلما تفشل مجموعة القرود، المذكورة في مثال شهير، التي تكتب حروفًا عشوائية على مدار عقود في كتابة عبارة «أكون أو لا أكون»، ستفشل الاحتمالات العشوائية في بناء البروتينات المحدّدة المطلوبة من أجل الحياة.

عوضًا عن ذلك، يتطلّب تركيب البروتينات المعقّدة مجموعةً من التعليمات التي توضح عملية تفصيلية؛ اربط هذا الحمض الأميني مع ذاك، تشبّث بهذا الحمض، ثم ذاك، وهكذا دواليك. يعني هذا أن تخليق البروتينات يتطلب برمجيات خلوية. وتحتوي كل خلية على مثل هذه التعليمات، التي يتم تشفيرها بواسطة الـDNA، تلك المادة الكيميائية الداعمة للحياة التي اكتُشفَت هندستها المعمارية على يد واطسون وكريك.

يتكون كل جزيء من الـDNA داخل اللفات الشهيرة للولب المزدوج، وهو سلم طويل ملتوٍ تتكوّن درجاته من أزواج من الدعامات، من جزيئات أقصر تسمى القواعد، يُشار إليها عادةً بالأحرف A وT وG وC (لا تهمنا المصطلحات الفنية المتخصصة، غير أن هذه الاختصارات ترمز إلى الأدينين والثايمين والجوانين والسايتوسين). يشترك أفراد النوع ذاته في نفس تتابع الحروف في الغالب. وفي حالة البشر، يحتوي تسلسل الـDNA على ما يقرب من ثلاثة مليارات حرف، ولا يختلف التسلسل الخاص بك عن ذلك الخاص بألبرت أينشتاين أو ماري كوري أو ويليام شكسبير أو أي شخص آخر إلّا بنسبة تقل عن ربع بالمائة تقريبًا، أي حرف واحد تقريبًا في كل سلسلة من خمسمائة حرف[23]. ولكن في خضم الفخر بامتلاك جينوم يشبه بدرجة كبيرة جينومات ألمع

الشخصيات التاريخية (أو الأشرار سيئي السُّمعة)، فلتلاحظ أيضًا أن تسلسل الـDNA الخاص بك مماثل بنسبة 99 في المائة لذلك الخاص بأي شيمبانزي[24]. فالاختلافات الوراثية البسيطة يمكن أن تكون لها تأثيرات عظيمة.

عند بناء درجات سلم الـDNA، يتم إقران القواعد وفقًا لقاعدة صارمة: إذ ترتبط دعامة الأدينين A، على أحد عمودي السلم بدعامة ثايمين T، على العمود الآخر، وترتبط دعامة الجوانين G، على أحد عموديّ السلم بدعامة سايتوسين C، على العمود الآخر. وهكذا فإن تسلسل القواعد على أحد جانبي السلم يحدد بصورة فريدة التسلسل على الجانب الآخر. وداخل تسلسل الحروف هذا نجد، ضمن معلومات خلوية حيوية أخرى، تعليمات تحدّد أي الأحماض الأمينية سيرتبط بالأحماض الأمينية الأخرى، وهذه التعليمات توجّه عملية تخليق مجموعات متفرّدة حبسب الأنواع من البروتينات الأساسية لهذا الشكل من الحياة.

وكل أشكال الحياة تشفّر تعليمات بناء البروتينات بالطريقة عينها[25].

سأوضح في هذه الفقرة، التي ربما تكون مفرطة في التفصيل، كيفية عملها، أي شفرة مورس الجزيئية المطبوعة داخل كل أشكال الحياة. تشير مجموعات مكونة من ثلاثة أحرف متتابعة على جانب واحد من الـDNA إلى حمض أميني معيّن من مجموعة الأحماض الأمينية العشرين[26]. على سبيل المثال، يشير التسلسل CTA إلى حمض اللوسين الأميني، ويشير التسلسل GCT إلى حمض آخر هو الألانين، فيما يشير التسلسل GTT إلى حمض الفالين، وهكذا دواليك. وإذا تفحّصت الدرجات المتصلة بأحد جوانب الـDNA وقرأت التسلسل الآتي المكوّن من تسعة أحرفCTAGCTGTT، فإن ذلك يأمرك بأن ترفق اللوسين (الأحرف الثلاثة الأولى CTA) بالألانين (الأحرف الثلاثة الثانية GCT)، ثم تربطهما بعد ذلك بالفالين (الأحرف الثلاثة الأخيرة GTT). والبروتين المبني من ألف حمض أميني متصل، مثلًا، سيتم تشفيره بواسطة تسلسل محدد من ثلاثة آلاف حرف (موقع بداية وموقع نهاية أي تسلسل من هذا القبيل يتم تشفيره أيضًا بتسلسلات معينة من ثلاثة أحرف، مثلما يرمز الحرف الكبير والنقطة إلى بداية ونهاية الجملة الإنجليزية). ومثل هذا التسلسل يشكّل *الجين*، وهو المخطط التوجيهي لتجميع البروتين[27].

أوضحت هذه التفاصيل لسببين. أولًا، رؤية الشفرة تجعل مفهوم البرمجيات الخلوية واضحًا. فعن طريق قطعة من الـDNA يمكننا قراءة التعليمات التي توجّه آليات العمل الداخلية للخلية، وهو تنسيق معقّد غير موجود بالمرة في المادة غير الحيّة. ثانيًا، رؤية الشفرة توضح ما يعنيه علماء الأحياء عندما يصفونها بأنها عامة. فكل جزيء

من الـDNA، سواء الموجود في الطحالب البحرية أو سوفوكليس، يشفِّر المعلومات المطلوبة من أجل بناء البروتينات بالطريقة ذاتها.

وهذه هي وحدة معلومات الحياة.

وحدة طاقة الحياة

مثلما يحتاج المحرك البخاري إلى إمداد ثابت من الطاقة كي يدفع مكبس التشغيل PISTON على نحو متكرّر، تتطلّب الحياة إمدادًا ثابتًا من الطاقة من أجل تأدية الوظائف الأساسية، من النمو والإصلاح إلى الحركة والتكاثر. في حالة المحرك البخاري نستخلص الطاقة من البيئة؛ إذ نحرق الفحم أو الخشب أو أي وقود آخر، وتُستهلَك الحرارة المتولدة في الآلية الداخلية للمحرك، وتدفع بخار الماء إلى التمدد. تستخلص الكائنات الحية أيضًا الطاقة من البيئة؛ إذ تستخلص الحيوانات الطاقة من الغذاء، وتستخلصها النباتات من أشعة الشمس. ولكن خلافًا للمحرك البخاري فإن الحياة لا تستخدم هذه الطاقة بشكل عام على الفور. فنظرًا إلى أن عمليات الحياة أكثر تعقيدًا من تمدد البخار أو انكماشه، فإنها تتطلب نظامًا أرفع لتوصيل الطاقة وتوزيعها. وتحتاج الحياة إلى تخزين الطاقة الناتجة من الوقود الذي تحرقه وتوزيعها على أساس منتظم وموثوق به بحسب ما تتطلبه المكونات الخلوية.

والحياة بكل أشكالها تواجه التحدّي المتمثل في استخلاص الطاقة وتوزيعها بالطريقة ذاتها[28].

يُعَدّ الحل الشامل الذي توصّلت إليه الحياة، والمتمثّل في تتابع معقّد من العمليات التي تجري الآن داخلي وداخلك، وعلى حد علمنا داخل كل كائن حي آخر، أحد أكثر إنجازات الطبيعة إثارة للذهول؛ إذ تَستخلص الحياةُ الطاقةَ من البيئة عبر نوع من الاحتراق الكيميائي البطيء ثم تخزن تلك الطاقة عن طريق شحن البطاريات البيولوجية المدمجة في جميع الخلايا. وبعد ذلك توفر حزم البطاريات الخلوية هذه مصدرًا ثابتًا للكهرباء التي تستخدمها الخلايا في تخليق جزيئات مصممة خصيصًا لنقل وتوصيل الطاقة إلى كل مكون خلوي.

قد تبدو المهمة ثقيلة. وهي ثقيلة بالفعل. كما أنها حيوية. لذا دعنا نفصّلها قليلًا. وإذا لم تفهم كل التفاصيل، فلا بأس. وحتى الجولة السريعة من شأنها الكشف عن عجائب الكيفية التي تزود بها الحياة آليات عملها الداخلية بالطاقة.

عملية الاحتراق الكيميائي الضرورية من أجل معالجة الحياة للطاقة تُسمى *تفاعل الأكسدة-الاختزال*. ليس هذا اسمًا جذّابًا، غير أن المثال الأصلي -قطعة الحطب المشتعلة-

يوضح معنى المصطلح. فعندما تحترق قطعة الحطب، يتخلّى الكربون والهيدروجين الموجودين في الخشب عن الإلكترونات لصالح الأكسجين الموجود في الهواء (تذكّر أن الأكسجين يتوق إلى الإلكترونات)، ويرتبطان بجزيئات الماء وثاني أكسيد الكربون، وتنطلق الطاقة خلال هذه العملية (وهذا هو السبب في أن النار ساخنة). وعندما يمسك الأكسجين بالإلكترونات، نقول إنه قد *اختُزل* (يمكنك التفكير في الأمر بوصفه تقليلًا لتوق الأكسجين إلى الإلكترونات). وعندما يتخلّى الكربون أو الهيدروجين عن الإلكترونات لصالح الأكسجين، نقول إنه قد *تأكسد*. ومعًا، يصير لدينا تفاعل أكسدة-اختزال.

يستخدم العلماء الآن هذا المصطلح على نطاق أوسع، في إشارة إلى مجموعة من التفاعلات التي يجري فيها نقل الإلكترونات بين المكونات الكيميائية، بصرف النظر عما إذا كان الأكسجين جزءًا من هذه العملية أم لا. ومع ذلك، توفّر قطعة الحطب المشتعلة نموذجًا وثيق الصلة لوصف عملية الاحتراق الكيميائي. فالذرات النهمة، التي ترزح تحت ضغط المدارات الممتلئة جزئيًا، تلتقط الإلكترونات من الذرات المانحة بقوة عظيمة بحيث يتم إطلاق كمية كبيرة من الطاقة المكبوتة خلال هذه العملية.

في الخلايا الحية -ودعونا نركز على الحيوانات تحديدًا- تحدث تفاعلات أكسدة-اختزال مماثلة، والمهم في الأمر أن الإلكترونات التي تم تجريدها من الذرات التي تناولتها على الإفطار لا تُنقَل مباشرة إلى الأكسجين. فإذا كان الأمر كذلك، لكان من شأن الطاقة المتحرّرة أن تخلق شيئًا شبيهًا بالنار الخلوية(1)، وهي نتيجة تعلمت الحياة تجنّبها. بدلًا من ذلك، تمر الإلكترونات التي تبرعت بها ذرات الطعام بسلسلة من تفاعلات الأكسدة-الاختزال الوسيطة ومحطات الاستراحة عبر رحلة تنتهي في نهاية المطاف بالأكسجين لكنها تسمح بإطلاق كميات أقل من الطاقة في كل خطوة. ومثل الكرة المتدحرجة إلى الأسفل في مدرج مكشوف، تقفز الإلكترونات من مستقبِل جزيئي إلى آخر، ومع كل مستقبل تكون الإلكترونات أكثر نشاطًا، مما يضمن أن كل قفزة تؤدّي إلى إطلاق الطاقة. ينتظر الأكسجين، أكثر المستقبلات هوسًا بالإلكترونات، أسفل المدرج، وعندما يصل الإلكترون أخيرًا يعانقه الأكسجين بإحكام، ويعتصر أي طاقة هامشية لا يزال بإمكانه توفيرها، وبذا يختتم عملية استخلاص الطاقة.

لا تختلف العملية كثيرًا في حالة النبات، غير أن الفرق الرئيسي هو مصدر

---

(1) نار داخل الخلية تحدث نتيجة اصطدام الالكترونات بالاكسجين مما يخلق طاقة قوية داخل الخلية يشبّهها الكاتب بالنار.

الإلكترونات. في حالة الحيوانات، تأتي الإلكترونات من الطعام، أما في حالة النبات فهي تأتي من الماء. يتسبّب ضوء الشمس الذي يضرب الكلوروفيل الموجود في الأوراق الخضراء للنبات في تجريد الإلكترونات من جزيئات الماء، ويزيد طاقتها، ويطلقها في عملية تدريجية مشابهة لاستخلاص الطاقة عن طريق الأكسدة والاختزال. وهكذا فإن الطاقة التي تدعم كل أفعال الكائنات الحيّة كافة يمكن إرجاعها إلى عملية واحدة، إلكترونات متقافزة تنفذ سلسلة من تفاعلات الأكسدة والاختزال الخلوية. ولهذا السبب قال ألبرت سنت جورجي، مواصلًا تأمّلاته الشعرية: «ليست الحياة سوى إلكترون يبحث عن مكان للراحة».

من منظور الفيزياء، يجدر التأكيد على مدى ما تتّسم به العملية من إثارة للدهشة. فالطاقة هي العملة التي تدفع تكلفة كل صور النشاط في شتى أرجاء الكون، وهي عملة تُسَك في مجموعة متنوعة من الصور، وتُكتسَب عبر مجموعة أوسع من الأعمال. إحدى صور الطاقة هي الطاقة النووية، الناتجة عن انشطار واندماج ثروة من الأنواع الذرية، والطاقة الكهرومغناطيسية صورة أخرى، تولّدها عملية الدفع والشد بين ثروة من الجُسَيْمات المشحونة، وطاقة الجاذبية صورة أخرى، تولدها التفاعلات بين وفرة من الأجسام الضخمة. ومع ذلك فعلى الرغم من كل هذه العمليات التي لا تعد ولا تحصى، تعتمد الحياة على كوكب الأرض على آلية طاقة واحدة فقط: تسلسل محدّد من التفاعلات الكيميائية الكهرومغناطيسية التي تشارك فيها الإلكترونات في سلسلة من القفزات المتّجهة إلى الأسفل، بدءًا بالطعام أو الماء وانتهاءً بالقبضة القوية للأكسجين.

كيف ولماذا أصبحت عملية استخلاص الطاقة هذه هي الآلية التي تعتمد عليها الحياة؟ لا أحد يعرف. غير أن عمومية هذه العملية، كما في حالة الشفرة الوراثية، تعلن في قوة، مرة أخرى، عن وحدة الحياة. لماذا تزود كل الكائنات الحية نفسها بالطاقة بالطريقة عينها؟ الجواب الفوري هو أن كل صور الحياة انحدرت لا ريب من سلف مشترك؛ نوع وحيد الخلية يعتقد الباحثون أنه وُجد على الأرجح منذ نحو أربعة مليارات عام.

البيولوجيا والبطاريات

تصير الأدلة على وحدة الحياة أكثر إقناعا بينما نواصل تتبّع رحلة الطاقة المنبعثة من الإلكترونات المتقافزة من تفاعل أكسدة-اختزال إلى آخر. تُستخدَم تلك الطاقة في شحن البطاريات البيولوجية المدمجة في كل خلية. وبدورها، تزوِّد البطاريات البيولوجية بالطاقة عملية تخليق الجزيئات الماهرة بشكل خاص في نقل الطاقة وإيصالها أينما وكلما دعت الحاجة إليها في شتى أنحاء الخلية. إنها عملية معقّدة، بيد أنها متماثلة في كل صور الحياة.

سأوضح في ما يلي الخطوط العريضة لهذه العملية. عندما يقفز الإلكترون إلى الأذرع الجزيئية الممدودة الخاصة بأي مستقبِل أكسدة-اختزال، ينتفض الجزيء المستقبِل، وهو ما يسبب تحويل اتجاهه نسبةً إلى الجزيئات الأخرى الملاصقة له عن كثب، وكأنه دولاب مُسنَّن يدور دورة واحدة إلى الأمام. وعندما يقفز الإلكترون المتقلب لاحقًا إلى مستقبِل الأكسدة-الاختزال التالي، يعود الجزيء الأول مجدّدًا إلى اتجاهه الأصلي، في حين ينتفض الجزيء المستقبِل الجديد. وبينما ينفذ الإلكترون المزيد من القفزات، يستمر هذا النمط؛ فالجزيئات التي تستقبل الإلكترونات تنتفض، ما يدفع اتجاهها وجهاتها إلى الأمام، والجزيئات التي تفقد الإلكترونات تنتفض أيضًا، بحيث تعود إلى اتجاهاتها السابقة.

يحقق تتابع تقافز الإلكترونات والانتفاضات الجزيئية الناتجة عنها مهمة دقيقة لكن شديدة الأهمية. فعندما تتحرك الجزيئات جيئةً وذهابًا، فإنها تضغط على مجموعة من البروتونات، بحيث تدفعها عبر غشاء محيط، وهناك تتراكم في حجيرة رقيقة تصير أشبه بزنزانة احتجاز شديدة الاكتظاظ. بعبارة أخرى، بطارية بروتونات.

في البطارية العادية، تجبر التفاعلات الكيميائية الإلكترونات على التراكم على جانب واحد من البطارية (الأنود)، وهناك يعني التنافر المتبادل لهذه الجُسَيْمات المشحونة بشحنات متماثلة أنها متأهّبة للهروب في أول فرصة. وعندما تكمل دائرة كهربية بالضغط على زر «التشغيل» أو قلب المفتاح، فإنك تحرر الإلكترونات المحتجزة، ما يسمح لها بالتدفّق خارج الأنود، والمرور عبر جهاز -مصباح أو حاسوب محمول أو هاتف- والعودة أخيرًا إلى الجانب الآخر للبطارية (الكاثود). وعلى الرغم من شيوع البطاريات فإنها مُخترعات عبقرية بمعنى الكلمة؛ إذ إنها تخزِّن الطاقة في مجموعة مزدحمة من الإلكترونات التي تقف على أهبة الاستعداد للتخلي عن تلك الطاقة على الفور من أجل تزويد الجهاز الذي نختاره بالطاقة.

نواجه في الخلية الحية موقفًا مشابهًا، لكن تحل البروتونات المحتجزة محل الإلكترونات المحتجزة. إلّا أن هذا التمييز لا يصنع أي فارق. فكما في حالة الإلكترونات، تحمل البروتونات كلّها شحنة كهربية متطابقة، ومن ثَم فإنها تتنافر أيضًا. وعندما تحشد تفاعلات الأكسدة-الاختزال الخلوية البروتونات معًا بشكل وثيق، فإنها تكون متأهبة بالمثل للحصول على فرصة الاندفاع بعيدًا عن رفاقها القسريين. وهكذا تقوم تفاعلات الأكسدة-الاختزال الخلوية بشحن البطاريات البيولوجية القائمة على البروتونات. وفي الواقع، نظرًا إلى أن البروتونات متجمّعة كلها في جانب واحد من غشاء رقيق للغاية (يبلغ عرضه بضع عشرات من الذرات فقط)، فمن الممكن أن يكون

المجال الكهربائي (فرق جهد الغشاء مقسومًا على سُمك الغشاء) هائلًا؛ إذ يصل إلى عشرات الملايين فولت لكلِ متر. إن البطارية الحيوية الخلوية لا يُستهان بها.

ما الذي تفعله الخلايا إذًا بمحطات الطاقة المصغّرة هذه؟ هذا هو الموضع الذي تصير الأمور فيه أكثر إثارة للدهشة. يتّصل بالغشاء عددٌ كبيرٌ جدًّا من التوربينات النانوية الحجم. وعندما يُسمَح للبروتونات المُحتجزة بالتدفق مرة أخرى عبر أقسام محدَّدة من الغشاء، فإنها تتسبب في دوران التوربينات الصغيرة، مثلما تتسبب هبَّات الرياح المتدفقة في دوران طواحين الهواء. في القرون الماضية استُخدمَت هذه الحركة المدفوعة بقوة الرياح في طحن القمح أو الحبوب الأخرى إلى دقيق. تضطلع طواحين الهواء الخلوية بمشروع طحن مماثل، غير أن هذه العملية تشيِّد البِنى، لا تسحقها. ففي أثناء دوران التوربينات الجزيئية فإنها تحشد على نحو متكرر جزَيئين محدَّدَيْن يمثلان مدخلات العملية (وهما الأدينوسين ثنائي الفوسفات ADP، بالإضافة إلى مجموعة فوسفات)، من أجل تخليق جزيء، يمثل مُخرَج هذه العملية (الأدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP). تُدفَع بقوة مكونات كل جزيء أدينوسين ثلاثي الفوسفات ناتج عن هذه العملية بواسطة التوربينات، ولذا تكون في ترتيب متوتر: إذ تكون المكونات المتنافرة ذات الشحنة المتشابهة متشابكة معًا بواسطة روابط كيميائية، ومن ثَم فإنها تجاهد من أجل التحرّر، مثل الزنبرك المضغوط. وهذا مفيد للغاية؛ إذ تستطيع جزيئات الأدينوسين ثلاثي الفوسفات الانتقال في جميع أنحاء الخلية، مُطلقةً تلك الطاقة المخزنة عند الحاجة عن طريق قطع الروابط الكيميائية والسماح للجزيئات المكوِّنة بالاسترخاء في حالة أكثر راحة وذات مستوى طاقة أقل. وهذه الطاقة نفسها، التي يطلقها انفصام جزيئات الأدينوسين ثلاثي الفوسفات، هي التي تشغِّل الوظائف الخلوية.

يصير النشاط المتواصل لمحطات الطاقة الخلوية هذه واضحًا عندما نتدبر بعض الأرقام. إن الوظائف التي تحافظ على الخلية النموذجية حية لمدّة ثانية واحدة فقط تتطلّب الطاقة المخزنة في نحو عشرة ملايين جزيء أدينوسين ثلاثي الفوسفات. يحتوي الجسم البشري على عشرات التريليونات من الخلايا، ما يعني أنه في كل ثانية يستهلك الفرد نحو مائة مليون تريليون (10^{20}) جزيء أدينوسين ثلاثي الفوسفات. وفي كل مرة يُستخدَم الأدينوسين ثلاثي الفوسفات فإنه ينقسم إلى المادتين الخام المكونتين له (الأدينوسين ثنائي الفوسفات ومجموعة فوسفات)، والتي تعيد التوربينات العاملة ببطارية البروتونات حشدها معًا مرة أخرى لتكوِّن جزيئات أدينوسين ثلاثي الفوسفات حديثة الصنع ومتجدّدة. وهذه الجزيئات تبدأ رحلتها مجددًا، وتوصل الطاقة إلى جميع أنحاء الخلية. ومن أجل تلبية احتياجات جسمك من الطاقة، تتسم التوربينات الخلوية

الموجودة لديك بأنها مُنتجة بشكل مذهل. وحتى إذا كنت قارئًا سريعًا للغاية، فخلال قراءتك السريعة لهذه العبارة، يقوم جسدك بتخليق نحو خمسمائة مليون تريليون جزيء من الأدينوسين ثلاثي الفوسفات. وفي هذه اللحظة وحسب، قام بتخليق ثلاثمائة مليون تريليون جزيء آخر.

ملخص

إذا نحَّينا التفاصيل جانبًا، نخلص مما سبق إلى أنه بينما تهبط الإلكترونات النشطة الآتية من الطعام (أو الإلكترونات التي تنشّطها أشعة الشمس في النباتات) درجات السلم الكيميائي، فإن الطاقة المنبعثة في كل درجة تشحن البطاريات البيولوجية الموجودة في جميع الخلايا. وبعد ذلك تُستخدَم الطاقة المخزَّنة في البطاريات في تخليق الجزيئات التي تفعل للطاقة ما تفعله خدمة البريد العامة للطرود؛ إذ تقوم الجزيئات بشكل موثوق بتوصيل حزَم الطاقة إلى أي موضع تكون مطلوبة فيه داخل الخلية. هذه هي الآلية العامة التي تمد صور الحياة كلها بالطاقة. وهذا هو مسار الطاقة الفريد الذي يقوم عليه *كل* عمل ننفذه و*كل* فكرة تدور في خلدنا.

وكما حدث في استعراضنا السريع للحمض النووي، فإن النقطة الرئيسية تسمو فوق التفاصيل، ومفادها أن المجموعة المعقّدة والمنمّقة للعمليات التي تمدّ الخلايا بالطاقة عامة وموحَّدة في كل صور الحياة. وهذه الوحدة، جنبًا إلى جنب مع وحدة تشفير الحمض النووي للتعليمات الخلوية، تقدم دليلًا دامغًا على أن الحياة كلّها نشأت من سلف مشترك. ومثلما سعى أينشتاين إلى نظرية موحدة لقوى الطبيعة، ومثلما يحلم الفيزيائيون اليوم بنظرية أعظم تشمل كل المادة وربما المكان والزمن أيضًا، ثمة إغراء قوي لتحديد جوهر مشترك داخل نطاق واسع من الظواهر المتمايزة في ظاهرها. كم هي مذهلة حقيقة أن آليات العمل الداخلية لكل صور الحياة -من كلبَيَّ اللذين يستريحان في هدوء على السجادة، إلى دوامة الحشرات الفوضوية التي يجذبها المصباح بالقرب من نافذتي، إلى جوقة الضفادع التي تصدح من البركة المجاورة، إلى ذئاب البراري التي تعوي على مسافة- تعتمد كلها على العمليات الجزيئية عينها. لذا لننحِّ التفاصيل جانبًا، ونأخذ استراحة قبل اختتام الفصل، ونسمح لأنفسنا باستيعاب ذلك الإدراك المدهش بالكامل.

تطور ما قبل التطور

إن الإدراكات الحيوية لا تقدّم وضوحًا غير متوقَّع وحسب، ولكنها تحضّنا أيضًا على التعمق بدرجة أكبر في دراستنا. كيف تَشَكّل السلف المشترك لكل أشكال الحياة المعقّدة؟ وثمة سؤال أعمق من هذه هو: كيف بدأت الحياة؟ لم يحدّد العلماء بعد أصل

الحياة، غير أن نقاشنا أوضح أن السؤال ينقسم إلى ثلاثة أجزاء: كيف ظهر المكوِّن الوراثي للحياة، أي القدرة على تخزين المعلومات واستخدامها وتكرارها؟ وكيف ظهر المكون الأيضي للحياة، أي القدرة على استخلاص الطاقة الكيميائية وتخزينها واستخدامها؟ وكيف ظهرت عملية حَزْم الآلات الجزيئية الوراثية والأيضية في وحدات مستقلة بذاتها، أي الخلايا؟ تتطلّب قصة أصل الحياة إجابات محدَّدة لهذه الأسئلة، ولكن حتى من دون الفهم الكامل يمكننا الانتقال إلى إطار تفسيري -التطور الداروينى- سيشكّل بالتأكيد جزءًا لا يتجزّأ من ذلك السرد المستقبلي.

عندما علمتُ للمرة الأولى بشأن التطور الداروينى، قدّم أستاذ علم الأحياء الذي درَّسها لي النظريةَ كما لو كانت الحل البارع لأحجية محيرة، والتي بمجرّد فهمها تجعلك تضرب جبينك براحة يدك برفق وتقول: «لماذا لم أفكر في ذلك؟». والأحجية هي تفسير أصل تلك المجموعة الغنية والمتنوّعة والوفيرة من الأنواع التي تعيش على كوكب الأرض. يتلخّص حل داروين في فكرتين مترابطتين: أولًا، عندما تتكاثر الكائنات الحية فإن الذرّية تكون شبيهة بالوالدين، لكن ليست مطابقة لهما. أو بحسب تعبير داروين، فإن التكاثر ينتج تحدّرًا مع التعديل. ثانيًا، في عالم محدود الموارد هناك منافسة من أجل البقاء. والتعديلات البيولوجية التي تعزز النجاح في المنافسة تزيد من احتمالية بقاء حاملها حيًا لفترة طويلة بما يكفي للتكاثر، ومن ثم تمرير سِماته المعزّزة للبقاء إلى الأجيال القادمة. وبمرور الوقت، تتراكم ببطء توليفات مختلفة من التعديلات الناجحة، مما يدفع المجموعة الأولية إلى التفرع إلى مجموعات تشكّل أنواعًا متمايزة[29].

التطوّر الداروينى بسيط وواضح، ويبدو وكأنه بديهي تمامًا. لكن على الرغم مما يتسم به الإطار التفسيري للتطور الداروينى من إقناع، فمن دون بيانات تدعمه كان من شأنه أن يفشل في تحقيق الإجماع العلمي. فالمنطق وحده لا يكفي. وتعتمد الثقة في التطور الداروينى على الدعم الساحق الذي تلقاه من العلماء الذين تتبعوا التغيرات التدريجية في بنية الكائنات الحية، وحددوا بصورة تفصيلية المزايا التكيفية التي قدّمها العديد من التغييرات. وإذا كانت مثل هذه التحولات غائبة، أو إذا حدثت من دون أي نمط واضح، أو إذا لم تكن لها علاقة بقدرة حاملها على البقاء أو التكاثر، لما درس أطفال المدارس التطوّر الداروينى.

لم يحدّد داروين الأساس البيولوجي للتحدّر مع التعديل. كيف تورِّث الكائنات الحية الصفات لذريتها؟ وكيف تتحدَّر بعض هذه السمات في شكل معدّل؟ في زمن داروين لم تكن الإجابات معروفة. كان الجميع يدركون بالتأكيد أن ماري الصغيرة تشبه

أمها وأبيها، غير أن ثمة اكتشافات عديدة كانت تفصلهم عن فهم الآلية الجزيئية الخاصّة بتمرير الصفات. إن قدرة داروين على بناء نظرية التطوّر في غياب مثل هذه التفاصيل توضح مدى عمومية وقوة الأفكار. فهي تسمو فوق التفاصيل الدقيقة. وقد مرَّ قرن كامل تقريبًا قبل أن ينير تفسير بنية الـDNA، في العام 1953، الطريق نحو الأساس الجزيئي للوراثة. وقد تحلى واطسون وكريك بالكثير من ضبط النفس حين اختتما ورقتهما البحثية بعبارة متحفّظة تعد واحدة من أشهر العبارات في هذا الصدد على مستوى العالم قالا فيها: «لم يغب عن ملاحظتنا أن الاقتران المحدّد الذي افترضناه يشير على الفور إلى آلية نسخ محتملة للمادة الوراثية».

لقد كشف واطسون وكريك عن العملية التي تُضاعف بها الحياة الجزيئات نفسها التي تخزّن التعليمات الداخلية للخلية، مما يسمح بنقل نسخ التعليمات إلى النسل. كما رأينا فإن المعلومات التي توجه الوظيفة الخلوية مُشَفَّرة في تسلسل القواعد المثبتة على امتداد عمودَيّ السلم الملتوي للـDNA. وعندما تستعد الخلية للتكاثر، أي الانقسام إلى قسمين، ينقسم سلم الحمض النووي في المنتصف، بحيث ينتج عمودَين، يحتوي كل منهما على سلسلة من القواعد. ونظرًا إلى أن التسلسلات متكاملة (بحيث يضمن وجود الأدينين على أحد العمودين وجود الثايمين في الموضع المكافئ بالعمود الثاني، ويضمن وجود السايتوسين على أحد العمودين وجود الجوانين في الموضع المكافئ بالعمود الثاني)، فإن كل عمود يوفّر قالبًا لبناء نسخة من الآخر. ومن خلال إرفاق قواعد الشريك بالقواعد الموجودة على كل عمود من الأعمدة المنفصلة، تصنع الخلية نسختين كاملتين من شريط الـDNA. وعندما تنقسم الخلية بعد ذلك، تتلقّى كل خلية ابنة نسخة من النسختين المكرّرتين، وهو ما يتيح تمرير المعلومات الوراثية من جيل إلى الجيل التالي؛ وهذه هي آلية النَّسْخ التي لم تغب عن ملاحظة واطسون وكريك.

على النحو الموصوف، من شأن عملية النَّسْخ أن تنتج خيوطًا متطابقة من الـDNA. كيف يمكن إذًا أن تنشأ سمات جديدة أو معدّلة في الخلايا الابنة؟ عن طريق الأخطاء. فلا توجد عملية مثالية بنسبة 100 بالمائة. وعلى الرغم من ندرة الأخطاء إلّا أنها ستظهر بغتة، أحيانًا نتيجة الصدفة وأحيانًا نتيجة تأثيرات بيئية مثل الفوتونات النشطة –الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة السينية– التي يمكن أن تفسد عملية النَّسْخ. ومن ثَم، من الممكن أن يختلف تسلسل الـDNA الذي ترثه الخلية الابنة عن التسلسل الذي أسهم به والدها. في كثير من الأحيان لا تكون لهذه التعديلات تبعات تُذكَر، مثل خطأ مطبعي واحد في الصفحة رقم 413 من رواية *الحرب والسلام*. بيد أن بعض التعديلات يمكن أن تؤثّر على عمل الخلية، للأفضل أو الأسوأ. في الحالة الأولى، التي تعزز الصلاحية،

سيمتلك التعديل فرصة أكبر للتمرير إلى الأجيال اللاحقة ومن ثم الانتشار داخل المجموعة السكانية.

يضفي التكاثر الجنسي قدرًا من التعقيد؛ لأن المادة الوراثية لا تُنسَخ ببساطة وإنما تتشكّل عوضًا عن ذلك عن طريق المزج بين المساهمات الآتية من الوالدين، الذكر والأنثى. لكن على الرغم من أن هذا النوع من التكاثر مَثَّلَ خطوة مهمّة في تاريخ الحياة على الأرض -خطوة لا يزال أصلها محل جدل- فإن المبادئ الداروينية تنطبق عليه بالمِثل. إن عملية مزج المادة الوراثية ونَسخها تنتج اختلافات في السمات الموروثة، والسمات الأكثر ترجيحًا للاستمرار عبر الأجيال التالية هي تلك التي تعزز احتمالات بقاء حاملها وتكاثره.

من الأمور الأساسية للتطوّر أنه عند الانحدار من الوالدين إلى الذرية، تكون التعديلات على الحمض النووي قليلة العدد في المعتاد. وهذا الاستقرار يحمي التحسينات الوراثية المتراكمة على مدار الأجيال السابقة، مما يضمن عدم تدهورها سريعًا أو محوها. ولإعطاء فكرة عن مدى ندرة هذه التغيرات نقول إن أخطاء النسخ تحدث بمعدل واحد تقريبًا لكل مائة مليون زوج من قواعد الحمض النووي. وهذا يشبه خطأ ناسخ من القرون الوسطى في حرف واحد لكل ثلاثين نسخة من الكتاب المقدس. وحتى هذا المعدل الضئيل يعد تقديرًا مبالغًا فيه؛ لأن 99 في المائة من الأخطاء المطبعية تُصلحها آليات التدقيق الكيميائية التي تعمل داخل كل خلية، ما يقلل معدل الخطأ الصافي إلى نحو خطأ واحد لكل عشرة مليارات زوج قاعدي.

حتى هذا التعديل الجيني الطفيف، عندما يتراكم على مدار أجيال عديدة، من الممكن أن يؤدّي إلى تطور جسدي وفيسيولوجي ضخم. ليس هذا الأمر بديهيًّا. وبعض مَن يدرسون أعجوبة العين، أو قدرات الدماغ، أو تعقيد آليات الطاقة الخلوية، سيخلصون إلى أن هذه الأنظمة ما كان لها أن تتطوّر من دون ذكاء موجِّه. وربما كان هذا الاستنتاج مبررًا إذا حدث التقدم التطوّري عبر نطاقات زمنية مألوفة. غير أن هذا لم يحدث؛ إذ تطوّرت الحياة عبر *مليارات* الأعوام. هذا يعني *آلاف الملايين* من الأعوام. وإذا تم تمثيل كل عام بورقة طابعة، فإن مليار عام ستعادل كومة يصل ارتفاعها إلى زهاء مائة كيلومتر. فكر في تلك الصفحات على أنها تشكّل كراسة طَيّ يزيد سمكها على ارتفاع جبل إفرست بعشرة أمثال. وحتى إذا اختلف الرسم الموجود على كل صفحة قليلًا عن الرسم الموجود في الصفحة السابقة عليها، فمن الممكن أن تختلف الرسمة الموجودة في بداية الكومة عن تلك الموجودة في نهايتها بدرجة تقارب اختلاف الشمبانزي عن الأميبا.

هذا لا يعني أن التغير التطوري يتبع خطة مصمَّمة بعناية بحيث تتقدّم تدريجيًّا وبكفاءة، صفحة بصفحة، من الكائنات الحية البسيطة إلى المعقّدة. بدلًا من ذلك يوصَف التطور عن طريق الانتخاب الطبيعي بصورة أفضل باعتباره عملية ابتكار تعتمد على التجربة والخطأ. تنشأ الابتكارات من توليفات وطفرات عشوائية في المادة الوراثية. وتحرّض المحاولات الابتكارات ضد بعضها البعض داخل ساحة البقاء. والأخطاء، بطبيعة الحال، هي الابتكارات الخاسرة. إنه نهج للابتكار من شأنه التسبب في إفلاس جُل الشركات. فتجربة احتمال عشوائي ثم آخر، على أمل أن يصل أحدها عاجلًا أم آجلًا إلى السوق -حسنًا، حاول عرض هذه الاستراتيجية على مجلس إدارتك-. غير أن الطبيعة لديها فائض من مورد لا تمتلكه الشركات: الوقت. فالطبيعة ليست في عجلة من أمرها، وليست بحاجة إلى الوفاء بمستهدفات تجارية. فالطبيعة قادرة على تحمل تكلفة الابتكار عن طريق التغيرات العشوائية الطفيفة[30].

ثمة عامل أساسي آخر وهو أنه لا توجد كراسة طَيّ تطورية واحدة منعزلة. فكل انقسام خلوي في كل كائن حي يشغل كل ركن وزاوية على سطح الكوكب أسهم في السرد الداروني. بعض الخطوط القصصية هذه باءت بالفشل (إذ كانت التعديلات الوراثية ضارّة)، وجُلها لم يضِف جديدًا إلى الحبكة الجارية (إذ تُمَرَّر التعديلات الوراثية من دون تغيير)، لكن بعضها قدّم نتائج غير متوقَّعة (تعديلات وراثية مفيدة من الناحية التكيفية). كان من الممكن أن تتطوّر إلى كراسات طَيّ تطورية خاصّة بها. وكثير منها، في واقع الأمر، يدعم العديد من الحبكات الرئيسية والفرعية المتشابكة، لذا من شأن السرد التطوري في إحدى الكراسات أن يتأثر بالسرد الوارد في الكراسات الأخرى. وهكذا فإن ثراء الحياة على الأرض إذ يعكس بكل تأكيد الفترة الهائلة للسجل التاريخي التطوّري، فإنه يعكس أيضًا العدد الهائل من السجلات التاريخية التي كتبتها الطبيعة.

خضع التطور الداروني للنقاش والتنقيح على مر عقود، شأنه شأن أي مجال بحثي صحي. ما معدل تطور الأنواع؟ هل تتباين هذه السرعة تباينًا كبيرًا مع مرور الوقت؟ هل هناك فترات طويلة من الركود تليها فترات قصيرة من التغير السريع؟ أم إن التغير تدريجي دائمًا؟ كيف ينبغي أن ننظر إلى السمات التي ربما تقلل من احتمالات بقاء الكائن الحي بينما تزيد من احتمالات تكاثره؟ ما هي قائمة الآليات الكاملة التي يمكن أن تتغير بها الجينات من جيل إلى جيل؟ كيف ينبغي أن نستجيب إلى الفجوات في السجل التطوّري؟ أدت بعض هذه القضايا إلى شجارات علمية محتدمة ولكن -وهذه هي النقطة المحورية ها هنا- لم يلق أيٌّ منها أي شك على التطور نفسه. فمن الممكن،

بل ومن المفترض، أن تُنَقَّح تفاصيل أي إطار تفسيري مع مرور الوقت، غير أن أساس النظرية الداروينية راسخ كالصخر.

وهذا يثير سؤالًا: هل يمكن للإطار الدارويني أن يكون ذا صلة بميدان أوسع من الحياة؟ فعلى أي حال، ليست المكوّنات الأساسية -التضاعف والتنوّع والمنافسة- مقتصرة على الكائنات الحيّة وحدها. فالطابعات تقوم بتكرار الصفحات. والتشوّهات البصرية تنتج اختلافات في النُّسَخ. ويتنافس مستقبِل الطابعة اللاسلكي على النطاق الترددي المحدود. دعونا نتخيل إذًا سياقًا أقرب إلى الحياة من الطابعات المكتبية، لكنه سياق غير حي بلا ريب: الجزيئات التي اكتسبت القدرة على التضاعف. يعد الـDNA مثالًا رئيسيًّا، لذا ضعه في اعتبارك. غير أن تضاعف الـDNA -انقسام سُلَّمه الملتوي وما يتبعه من إعادة بناء لكل عمود من عموديه بحيث يصير لدينا جزيئات DNA وليدة كاملة- يعتمد على جيش من البروتينات الخلوية، ومن ثَم يتطلب أن تكون عمليات الحياة موجودة بالفعل.

تخيل بدلًا من ذلك جزيئًا يمكنه التضاعف من تلقاء نفسه، وموجود قبل ظهور أي حياة في أي مكان بزمن طويل. لا نحتاج إلى الالتزام بآلية تضاعف محدّدة، ولكن فقط لكي يكون لديك صورة عقلية ملموسة، ربما يعمل هذا النوع من الجزيئات، عند الطفو في حساء كيميائي غني، عمل المغناطيس الجزيئي بحيث يجذب بقوة المكونات ذاتها التي يتكوّن منها ويوفّر قالبًا لتجميعها على صورة جزيئات مقلّدة. تخيل أيضًا أن عملية التضاعف غير مثالية، شأنها شأن جميع العمليات في العالم الواقعي، بحيث إنه في كثير من الأحيان يكون الجزيء المُخَلَّق حديثًا مطابقًا للأصل، ولكن في بعض الأحيان لا يكون كذلك. وهكذا فإننا نبني، على مدار العديد من الأجيال الجزيئية، نظامًا بيئيًّا يسكنه طيف من الجزيئات التي تعَد صورًا مختلفة من الجزيء الأصلي.

تتسم المواد الخام في أي بيئة بأنها محدودة، وهذا ينطبق على الموارد أيضًا. وهكذا، بينما يواصل النظام البيئي للجزيئات التضاعف، فإن الجزيئات التي تتضاعف بكفاءة ودقة أكبر -أي بسرعة وبتكلفة زهيدة ومع ذلك ليست خارجة عن السيطرة- ستكون هي السائدة. ستكتسب هذه الجزيئات لقب الجزيئات «الأصلح»، ومع مرور الوقت ستهيمن على مجموعة الجزيئات. وكل طفرة لاحقة ناشئة عن عملية التضاعف غير المثالية ستضيف مزيدًا من التعديلات إلى الصلاحية الجزيئية. وكما هي الحال مع كل الكائنات الحيّة، ومع كل الأشياء غير الحيّة؛ فإن التعديلات التي تعزّز الصلاحية الجزيئية ستنتصر على تلك التي لا تفعل ذلك. وستدفع الخصوبة الأكبر للجزيئات الأكثر صلاحية التركيبةَ السكانية نحو تلك الجزيئات عينها.

ما وصفته هو نسخة جزيئية من التطور، أي *الداروينية الجزيئية*. وهي توضح كيف يمكن لمجموعات متنافسة من الجُسَيمات التي توجّهها فقط قوانين الفيزياء أن تصير أكثر مهارة في التكاثر؛ وهو أمر نربطه عادة بالحياة. وعندما نسعى إلى أصل الحياة، يشير هذا إلى أن الداروينية الجزيئية ربما كانت آلية أساسية خلال الحقبة السابقة على ظهور أولى صور الحياة. وثمة نسخة من هذا الاقتراح، لا تحظى بالإجماع ولكن اكتسبت شعبية معقولة، تعتمد على جزيء خاص متعدّد المهارات: الـRNA.

نحو أصل الحياة

في ستينيات القرن العشرين، جذب عدد من الباحثين البارزين، من ضمنهم فرانسيس كريك والكيميائي ليزلي أورجيل وعالم الأحياء كارل ووز، الانتباه إلى جزيء قريب الصلة بالـDNA، وهو الـRNA (الحمض النووي الريبوزي)، والذي ربما أطلق قبل نحو أربعة مليارات عام طورًا من الداروينية الجزيئية التي شكّلت مقدّمة للحياة.

الـRNA جزيء متعدّد الاستخدامات بشكل استثنائي، وهو مكوّن أساسي لأنظمة الحياة كافة. يمكنك التفكير فيه باعتباره نسخة أقصر وذات جانب واحد للـDNA؛ إذ يتألف من عمود واحد تتصل به على امتداده سلسلة من القواعد. يؤدّي الـRNA أدوارًا خلوية مختلفة، منها أنه وسيط كيميائي يأخذ طبعات من أقسام صغيرة متعدّدة من شريط الـDNA «غير المضغوط»، بطريقة مشابهة لطبيب الأسنان الذي يصنع قالبًا لأسنانك عندما تفتح فكيك، ثم ينقل الـRNA المعلومات إلى أجزاء أخرى من الخلية، حيث يوجّه عملية تخليق بروتينات معينة. وهكذا فإن الـRNA يجسّد معلومات خلوية، مثل جزيء الـDNA، وبذا يعد أحد مكونات برنامج الخلية. لكن هناك اختلافًا مهمًّا بين الـRNA والـDNA؛ ففي حين يرضى الـDNA بلعب دور عرَّاف الخليّة وحسب، إذ يكون ينبوع الحكمة الذي يوجّه النشاط الخلوي، فإن الـRNA لا يمانع تأدية العمل بنفسه ويشارك في العمليات الكيميائية. وفي الواقع، تمتلك ريبوسومات الخلية -المصانع المصغرة التي تُجَمِّع الأحماض الأمينية معًا لإنتاج البروتينات- نسخة خاصّة من الـRNA (تُسمّى الـRNA الريبوسومي) في لُبِّها.

وهكذا ينتمي الـRNA إلى نطاق البرمجيات والعتاد المادي في الوقت عينه. فبإمكانه توجيه التفاعلات الكيميائية وتحفيزها كذلك، وبعض من هذه التفاعلات يعزّز عملية تضاعف الـRNA ذاته. وعلى الرغم من أن الآلات الجزيئية التي تصنع نُسَخًا من الـDNA تستخدم مجموعة معقّدة من التروس والعجلات الكيميائية، فإن الـRNA يستطيع بنفسه تحفيز عملية تخليق الأزواج القاعدية الضرورية من أجل

عملية التضاعف الخاصة به. تدبَّر تداعيات ذلك. إن جزيئات الـRNA، التي تمزج بين البرمجيات والعتاد المادي، لها القدرة على حل معضلة الدجاجة والبيضة: كيف يمكنك تجميع العتاد المادي الجزيئي من دون أن يكون لديك أولًا برمجيات جزيئية، أي، التعليمات الخاصّة بتنفيذ عملية التجميع؟ وكيف تصنع البرمجيات الجزيئية من دون الحاجة أولًا إلى عتاد مادّي جزيئي، يكون بمنزلة البنية التحتية التي تنفذ عملية التصنيع؟ يجسد الـRNA كلتا الوظيفتين، إذ يمزج بين دور الدجاجة والبيضة، وبذا يمتلك القدرة على دفع حقبة من الداروينية الجزيئية إلى الأمام.

هذا هو مُقترَح عالَم الـRNA. وبحسب هذا التصور فإنه قبل أن توجد الحياة كان هناك عالم مليء بجزيئات الـRNA، التي تطوّرت من خلال الداروينية الجزيئية عبر عدد هائل من الأجيال تصعب على عقولنا استيعابه، إلى البنى الكيميائية التي شكّلت الخلايا الأولى. وفي حين أن التفاصيل غير محسومة، فقد وضع العلماء مخططًا عامًّا لما بدت عليه هذه المرحلة من التطور الجزيئي. وفي خمسينيات القرن الماضي، خلط هارولد يوري، الفائز بجائزة نوبل، وستانلي ميلر، طالب الدراسات العليا الذي يعمل معه، عددًا من الغازات (الهيدروجين والنشادر والميثان وبخار الماء) التي يعتقدون بأنها كانت تشكّل الغلاف الجوي المبكر للأرض، ثم ضربا كوكتيل الغازات هذا بالتيارات الكهربية لمحاكاة ضربات البرق، وأعلنا في سبق شهير أن اللطخة الناتجة احتوت على أحماض أمينية، وهي الوحدات البنائية الأساسية للبروتينات. وعلى الرغم من أن الأبحاث اللاحقة أظهرت أن الأخلاط الغازية الأولية التي درسها يوري وميلر لم تعكس بدقة التركيب الكيميائي للغلاف الجوي المبكر للأرض، إلّا أن التجارب المماثلة التي أُجريَت مع كوكتيلات غازية أخرى (بما في ذلك خليط ابتكره يوري وميلر نفسيهما بحيث يحاكي الأبخرة السامة المنبعثة من البراكين النشطة، والتي من العجيب أنها ظلت من دون تحليل لأكثر من نصف قرن[31])، كانت ناجحة بالقدر نفسه في توليد الأحماض الأمينية. علاوة على ذلك، رُصِدَت في وقتنا الحالي أحماض أمينية في السحب النجمية، وفي المذنبات، وفي النيازك. لذلك، من غير المستبعد الاعتقاد بأن الحساء الكيميائي على الأرض المبكرة ربما يكون قد مزج جزيئات الـRNA مع مجموعة وفيرة من الأحماض الأمينية.

تخيل إذًا أنه مع استمرار جزيئات الـRNA في التضاعف، سهّلت طفرة عابرة ظهور شيء جديد: إذ حفز الـRNA الطافِر الأحماض الأمينية الموجودة في الحساء البيئي بالاتصال معًا في سلاسل، بحيث أُنتجَت أولى البروتينات البدائية (نسخة غير متقنة من أنواع العمليات التي تحدث الآن في الريبوسومات). وإذا حدث، بمحض الصدفة،

أن زادت بعض هذه البروتينات الأساسية من كفاءة تضاعف الـRNA -على أي حال، تعد تفاعلات التحفيز جزءًا مما تفعله البروتينات- فستُكافأ بقوة؛ حيث ستعين هذه البروتينات الشكل الطافر من الـRNA على الهيمنة، ومن شأن الإمداد الوفير الجديد من الـRNA الطافر أن يساعد في تخليق المزيد من البروتينات. وبذا سيشكلان معًا حلقة كيميائية ذاتية التعزيز من شأنها دفع هذه الانحرافات الجزيئية إلى أن تصبح القاعدة. وبمرور الوقت، ربما تعثر الآليات الجزيئية المستمرة على بدعة كيميائية أخرى: سلم مزدوج -شكل بدائي من الـDNA- يثبت أنه بنية أكثر استقرارًا وكفاءة للتضاعف الجزيئي، وبذا يضطلع بعمليات التضاعف وينحّي الـRNA جانبًا بحيث يكتفي بلعب دور داعم. كما من شأن التشكيل المحتمل لأكياس جزيئية -الجدران الخلوية- أن يزيد الصلاحية بدرجة أكبر عن طريق تركيز المواد الكيميائية في المناطق المعزولة، وتوفير الحماية من الاضطراب البيئي. وبينما تنتشر داخل المجموعة الكيميائية البنى الضرورية لتكوين أولى الخلايا البدائية، فإنها ستتجمع معًا[32].

وهكذا ولدت الحياة.

ليس عالَم الـRNA سوى مُقترَح واحد ضمن العديد من المقترحات. وهو مثال يشدّد على أهمية المكوّن الوراثي للحياة: الجزيئات التي تجسّد المعلومات وتمرّر تلك المعلومات من خلال عملية التضاعف إلى الأجيال اللاحقة. وإذا ثبتت صحة هذا المُقترَح، سنظل بحاجة إلى مواجهة قضية أصل الـRNA نفسه؛ إذ ربما تكون مرحلة مبكرة من التطوّر الجزيئي قد ولَّدَت الـRNA من مكونات كيميائية أبسط. ثمة مقترحات أخرى تولي أهمية أكبر للمكون الأيضي للحياة: أيْ الجزيئات التي تحفّز التفاعلات. وبدلًا من أن تبدأ هذه السيناريوات بجزيء متضاعف يمكنه العمل كبروتين، فإنها تبدأ بجزيئات بروتينية قادرة على التضاعف. ومع ذلك فهناك مقترحات أخرى تتصوّر تطورين متمايزين كليًا، يؤدّي أحدهما إلى جزيئات تتضاعف والآخر إلى جزيئات تحفّز التفاعلات الكيميائية، وفي وقت لاحق وحسب تندمج هاتان العمليتان على شكل خلايا تستطيع تنفيذ وظيفتيّ التضاعف والأيض الأساسيتين.

تكثر الاقتراحات أيضًا بشأن الموضع الذي تشكلت فيه المواد الكيميائية السابقة على ظهور الحياة للمرة الأولى. ويخلص بعض الباحثين إلى أن اقتراح داروين المُرتجَل الخاص بـ«البركة الصغيرة الدافئة» ليس واعدًا بشكل خاص لأنه على مدار مئات الملايين من الأعوام ظل الحطام الصخري ينهمر على الأرض، ما جعل السطح غير ملائم لاستضافة الحياة[33]. ومع ذلك، اقترح عالم الأحياء ديفيد ديمر أن من الضروري لبدء الحياة وجود بيئة تتقلب بين الرطوبة والجفاف، مثل اليابسة المتاخمة لبركة أو

بحيرة. وقد أثبتت أبحاث فريقه أن هذه الدورات الرطبة والجافة يمكنها دفع اللبيدات إلى تكوين أغشية -جدران خلوية- يمكن من خلالها حث القصاصات الجزيئية على الاتصال في سلاسل أطول، على نحو يشبه الـDNA والـRNA[34]. كما اقترح الكيميائي غراهام كيرنز سميث أن البلورات التي تشكل الألواح الطينية -وهي بنى تنمو عن طريق التثبيت المتواصل للذرات في نمط منظّم ومتكرّر- ربما تكون قد شكّلت نظامًا مبكرًا للتضاعف كان سلفًا لمثل هذا السلوك في الجزيئات العضوية الأكثر تعقيدًا على الطريق نحو الحياة[35]. وثمة اقتراح منافس آخر مقنع، خرج به الكيميائي الجيولوجي مايك راسل وعالم الأحياء بيل مارتن، يتمثل في الشقوق الموجودة في قيعان المحيطات، والتي تنفث تيارات عمودية دافئة غنية بالمعادن ناتجة عن تفاعل مياه البحر مع الصخور التي تشكّل دثار الأرض[36]. وهذه الشقوق، المسماة الفوّهات الحرمائية، ترسب مداخن من الحجر الجيري ترتفع من قاع المحيط -يصل ارتفاع بعضها إلى أكثر من خمسين مترًا، أي أعلى من تمثال الحرية- عامرة بالشقوق والزوايا التي يمر من خلالها طوفان نشط من المواد الكيميائية باستمرار. وبحسب هذا المُقترَح فإنه داخل الدوامات العديدة التي تتشكّل داخل الأبراج، تؤدّي الداروينية الجزيئية سحرها الكيميائي، بحيث تنتج جزيئات متضاعفة ازدادت تعقيدًا وتطوّرًا بمرور الوقت، إلى أن أدت في النهاية إلى ظهور الحياة على الأرض.

لا تزال التفاصيل محور اهتمام أحدث الأبحاث. وحتى وقتنا الحالي تتسم المحاولات المعملية الهادفة إلى إعادة إنشاء هذه العمليات بكونها مثيرة للاهتمام، ولكنها غير حاسمة. فلم نخلق الحياة بعد من الصفر. ولا يساورني شك في أننا سنتمكن من فعل ذلك ذات يوم، ربما ليس بعيدًا. في الوقت الحالي، بدأ السرد العلمي الشامل الخاص بأصل الحياة في التشكّل. وبمجرد أن تكتسب الجزيئات القدرة على التضاعف، فإن الأخطاء والطفرات التي تقع بالصدفة ستغذّي الداروينية الجزيئية، مما يؤدي إلى التخليق الكيميائي على امتداد طريق الصلاحية المتزايدة الشديد الأهمية. وهذه العملية، التي تتكشّف على مدار مئات الملايين من الأعوام، لديها القدرة على بناء المعمارية الكيميائية للحياة.

فيزياء المعلومات

بحلول هذه النقطة ربما تكون قد خلصت إلى أن جزيئات الحياة من المؤكد أنها كانت شديدة التفوّق في دراستها للكيمياء العضوية، وإلّا كيف لها أن تعرف ما يُفترَض بها عمله؟ كيف يعرف الـDNA أن عليه الانقسام من المنتصف ثم ربط القواعد المكملة الصحيحة

بالقواعد المكشوفة، بحيث يخلق نسخة طبق الأصل من الجزيء؟ وكيف يعرف الـ RNA طريق عمل نُسَخ من مقاطع الـDNA، ونقل تلك المعلومات إلى البنى الخلوية المناسبة التي تعرف فيها جزيئات أخرى متمايزة، لكنها ذات صلة، كيفية قراءة الشفرة الجينية وربط التسلسلات المناسبة من الأحماض الأمينية على صورة بروتينات عاملة؟ بطبيعة الحال لا تعرف الجزيئات أي شيء. فسلوكها محكوم بقوانين الفيزياء العمياء والطائشة وغير الموجَّهَة. ولكن يبقى السؤال: كيف تنفّذ على نحو ثابت وموثوق به سلسلة شديدة التشابك من العمليات الكيميائية المعقّدة؟ يعود بنا هذا السؤال إلى تفسيري لاستفسار شرودنجر الأصلي في كتاب «ما الحياة؟»: فحركة الجزيئات وتلاطمها داخل الصخرة محكومان بقوانين الفيزياء. وحركة الجزيئات وتلاطمها داخل الأرانب محكومان أيضًا بقوانين الفيزياء. كيف تختلف الحالتان؟ رأينا الآن أن جُسَيْمات الأرنب موجَّهَة بتأثير إضافي؛ أرشيف المعلومات الداخلية للأرنب، وبرمجياته الخلوية. والأمر المهم، والحيوي والحاسم، هو أن هذه المعلومات لا تخالف قوانين الفيزياء. لا شيء يُفعل. وعوضًا عن ذلك، مثلما لا تخالف الزلاجة المائية قوانين الجاذبية، وإنما توجّه المتزلجين بواسطة شكلها على امتداد مسار معين ما كان لهم من دون هذا التوجيه أن يتبعوه، فإن البرمجيات الخلوية للأرنب تُنَفِّذ بواسطة ترتيبات كيميائية توجّه الجزيئات المختلفة، من خلال شكلها وبنيتها ومكوناتها، على امتداد مسارات ما كان لها من دون هذا التوجيه أن تتبعها من تلقاء ذاتها.

كيف تعمل هذه الإرشادات الجزيئية؟ بسبب الترتيب التفصيلي للذرات المكونة لأي جزيء، ربما يجتذب هذا الحمض الأميني، ويصدّ ذاك، ولا يبالي البتة بالأحماض الأخرى. أو ربما يتّصل جزيء بجزيء آخر معين، مثل قطع مكعبات الليجو المتوافقة. هذا كله تمليه الفيزياء. فعندما تدفع الذرات والجزيئات بعضها بعضًا، أو تجذب بعضها بعضًا، أو تتّصل معًا، يكون ذلك نتيجة عمل القوة الكهرومغناطيسية. المغزى هنا، إذًا، هو أن المعلومات الموجودة في الخلية ليست مجرّدة. فهي ليست مجموعة من التعليمات العائمة الحرّة التي تحتاجها الجزيئات للدراسة والاستظهار والتنفيذ. بدلًا من ذلك فالمعلومات مُشَفَّرة داخل الترتيبات الجزَيئية نفسها، وهذه الترتيبات تحث الجزيئات الأخرى على التلاطم أو الاتحاد أو التفاعل بطريقة تؤدّي إلى تنفيذ عمليات خلوية مثل النمو أو الإصلاح أو التكاثر. وعلى الرغم من أن الجزيئات الموجودة داخل أي خلية تفتقر إلى النية أو الغرض، وعلى الرغم من أنها غافلة تمامًا، فإن بنيتها المادية تمكّنها من تنفيذ مهمّات عالية التخصّص.

وبهذا المعنى، فإن عمليات الحياة لا تعدو كونها تقلبات جزيئية يصفها بالكامل

قانون فيزيائي يروي في الوقت عينه قصةً ذات مستوى أعلى ومبنية على المعلومات. بالنسبة إلى الصخرة، لا توجد قصة ذات مستوى أعلى. وعندما تستخدم قوانين الفيزياء حركة وتلاطم جزيئات الصخرة، تكون القصة قد انتهت. ولكن عندما تستخدم نفس قوانين الفيزياء لوصف حركة وتلاطم جزيئات الأرنب، فإن القصة لم تنتهِ عند هذا الحد على الإطلاق. ففوق القصة الاختزالية توجد قصة كاملة إضافية تحكي عن الترتيبات الجزيئية الداخلية الفريدة للأرنب التي تصمّم طَيفًا خلابًا من الحركات الجزيئية المُنَظَّمة. وهذه الحركات الجزيئية هي التي تنفّذ العمليات العالية المستوى داخل خلايا الأرانب.

وحقيقة الأمر أنه في حالة الأرنب، والبشر أيضًا، تُنَظِّم هذه المعلومات البيولوجية أيضًا على نطاقات أكبر، بحيث توجّه عمليات لا تعمل فقط داخل نطاق الخلايا الفردية ولكن عبر مجموعات من الخلايا، مما ينتج خاصية التعقيد المتناسق المميزة. فعندما تمد يدك لإمساك فنجان من القهوة، فإن حركة كل ذرّة تشكّل كل جزيء في يدك وذراعك وجسدك ودماغك تخضع لقوانين الفيزياء. ونؤكّد مجددًا: لا تخالف الحياة قوانين الفيزياء، ولا يمكنها ذلك. لا شيء بإمكانه ذلك. لكن حقيقة أن عددًا كبيرًا من جزيئاتك يستطيع العمل بشكل متناغم، وتنسيق حركتها الإجمالية كي تسبّب فرد ذراعك عبر طاولة وإمساك يدك بالفنجان، تعكس ثروة المعلومات البيولوجية، المجسّدة في الترتيبات الذرية والجزيئية، والتي توجه وفرة من العمليات الجزيئية المعقدة.

فما الحياة إلّا فيزياء مُنَظَّمة.

الديناميكا الحرارية والحياة

وفق ما ذهب إليه داروين، فإن التطور يوجّه نمو البِنى، من الجزيئات إلى الخلايا المنفردة إلى الكائنات الحية المعقّدة العديدة الخلايا. ووفق ما ذهب إليه بولتزمان، فإن الإنتروبيا ترسم ملامح تطوّر الأنظمة الفيزيائية، من الروائح المنتشرة إلى المحركات الحرارية الصاخبة إلى النجوم المحترقة. وتخضع الحياة إلى هذين التأثيرين الإرشاديَّين كليهما: إذ نشأت الحياة وصُقلَت عبر التطوّر. وشأن جميع الأنظمة الفيزيائية فإن الحياة تلتزم بإملاءات الإنتروبيا. وفي الفصلين الأخيرين من كتاب «ما الحياة؟»، استكشف شرودنجر التوتر الظاهري بين التأثيرين. عندما تتجمع المادة كي تشكّل الحياة، فإنها تحافظ على النظام على مدى فترات طويلة من الزمن. وبينما تتكاثر الحياة، فإنها تولد مجموعات إضافية من الجزيئات التي يتم ترتيبها أيضًا في بنى منظمة. أين إذًا توجد الإنتروبيا، والفوضى، والقانون الثاني للديناميكا الحرارية، ضمن هذا كلّه؟

أوضح شرودنجر، في إجابته، أن الكائنات الحية تقاوم الارتفاع إلى الإنتروبيا الأعلى من خلال «التغذّي على الإنتروبيا السلبية»[37]، وهو تعبير أدى على مر العقود إلى توليد القليل من الارتباك وإلى انتقادات قائمة على التدقيق في صغائر الأمور. لكن من الواضح أنه على الرغم من تعبير شرودنجر عن الأمر بلغة مختلفة إلى حدٍّ ما، فإن إجابته هي نفس الإجابة التي توصّلنا إليها: رقصة الإنتروبيا الثنائية. فالكائنات الحيّة ليست معزولة، ومن ثَم فإن أي إحصاء للقانون الثاني يجب أن يتضمّن بيئتها. لنتأمل حالتي كمثال. على مدار أكثر من نصف قرن نجحتُ في منع الإنتروبيا من الوصول إلى عنان السماء. وقد فعلت ذلك عن طريق التهام بنى منظمة (تتكوّن في معظمها من الخضروات والمكسرات والحبوب)، وحرقها ببطء (من خلال تفاعلات الأكسدة-الاختزال، تتدفّق الإلكترونات من شلال الطعام إلى أسفل مدرج الاستاد وفي النهاية تتحد مع الأكسجين الذي استنشقته)، وذلك باستخدام الطاقة المنطلقة من أجل تشغيل الأنشطة الأيضية المختلفة، والتخلّص من الإنتروبيا إلى البيئة المحيطة عن طريق المخلفات والحرارة. وإجمالًا، أتاحت الرقصة الثنائية الإنتروبيا الخاصّة بي تحدي القانون الثاني بينما دعمتني البيئة على نحو متواصل، بما مكّنني من خفض مستوى الإنتروبيا. إن عملية حرق وتخزين وإطلاق الطاقة لتشغيل الوظائف الخلوية أكثر تعقيدًا من العملية المكافئة التي تشغل المحركات البخارية، ولكن من منظور الإنتروبيا، آليات العمل الفيزيائية الأساسية واحدة.

ثمة مصدر أقل وضوحًا للقلق، وراء اختيار شرودنجر اللغوي، يتمثل في أصل التغذية عالية الجودة ومنخفضة الإنتروبيا. فبدايةً من الحيوانات، ونزولًا عبر السلسلة الغذائية نواجه النباتات، التي تتغذّى مباشرة على ضوء الشمس. إن دورة الطاقة الخاصة بها تعد مثالًا آخر على رقصة الإنتروبيا الثنائية؛ إذ تعمل الفوتونات الشمسية الواردة التي تمتصّها خلايا النبات على دفع الإلكترونات إلى حالات طاقة أعلى، تسخرها الآلات الخلوية بعد ذلك (عبر سلسلة من تفاعلات الأكسدة-الاختزال التي توجّه الإلكترونات أسفل سلالم الاستاد) لإمداد الوظائف الخلوية المختلفة بالطاقة. وبهذا فإن الفوتونات الآتية من الشمس هي غذاء منخفض الإنتروبيا وعالي الجودة تمتصه النباتات، وتستغله في عمليات الحياة، ثم تطلقه على صورة مخلفات ذات إنتروبيا أعلى (مقابل كل فوتون يتم تلقيه من الشمس، ترسل الأرض إلى الفضاء بضع عشرات من الفوتونات الأقل تنظيمًا والمستنفَدة الطاقة والمنتشرة على نطاق واسع)[38].

وبمواصلة اقتفاء الطريق نحو مصدر الإنتروبيا المنخفضة، نسعى إلى معرفة أصل الشمس، وهذه المعرفة تتداخل مع قصة الجاذبية التي أوردتُها في الفصل الثالث: إذ

تضغط الجاذبية سُحُب الغاز محولةً إياها إلى نجوم، وتخفض الإنتروبيا الداخلية، وترفع إنتروبيا البيئة المحيطة من خلال الحرارة المنبعثة. وفي النهاية، تشتعل التفاعلات النووية، وتضيء النجوم، وتُرسَل الفوتونات متدفقةً إلى الخارج. وعندما يكون هذا النجم هو الشمس، فإن الفوتونات التي تصل إلى الأرض تكون مصدر الطاقة المنخفضة الإنتروبيا التي تدعم الأيض في النبات، وهو ما يوضح لماذا يقول الباحثون كثيرًا إن قوة الجاذبية تدعم الحياة. وفي حين أن ذلك صحيح، فأنت تعلم الآن أنني أحب توزيع الفضل على نحو أكثر إنصافًا، بحيث أشيد بالجاذبية لدورها في دفع المادة إلى التكتل وتأمين البيئات النجمية المستقرة، ولكنني أمجِّد أيضًا الاندماج النووي لما ينتجه من دفق متواصل من الفوتونات العالية الجودة عبر ملايين ومليارات الأعوام.

فالقوة النووية، بالمشاركة مع الجاذبية، هما ينبوع الوقود المنخفض الإنتروبيا المانح للحياة.

نظرية عامة للحياة؟

شدد شرودنجر، في محاضراته التي ألقاها العام 1943، على أن وابل التطورات العلمية كان شديدًا إلى درجة أنه «أضحى من المستحيل لعقل واحد أن يُلِم بشكل وافٍ بأكثر من جزء متخصص صغير»[39]. ومن ثَم فقد شجع المفكرين على توسيع نطاق خبراتهم من خلال استكشاف العوالم الواقعة خارج مجالاتهم الفكرية التقليدية. وفي كتاب «ما الحياة؟»، استخدم شرودنجر جرأة تدريب الفيزيائي وحدسه وإدراكه في تدبر ألغاز علم الأحياء.

وفي العقود التي تلت ذلك، وبينما أصبحت المعرفة متخصّصة على نحو متزايد، واصلت مجموعة متزايدة من الباحثين المناداة بما ذهب إليه شرودنجر من تعدد للتخصصات. وقد استجاب الكثيرون؛ إذ طوَّر باحثون من مجالات متعددة مثل الفيزياء، الطاقة العالية، والميكانيكا الإحصائية، وعلوم الحاسوب، ونظرية المعلومات، وكيمياء الكم، وعلم الأحياء الجزيئي، وعلم الأحياء الفضائي، من بين مجالات أخرى، طرقًا جديدة وثاقبة لاستكشاف طبيعة الحياة. وسأختتم هذا الفصل بالتركيز على واحد من هذه التطورات، والذي يتوسّع في موضوع الديناميكا الحرارية وربما يساعد ذات يوم، إذا نجح برنامجه، في الإجابة عن بعض من أعمق الأسئلة في العلوم: هل من الممكن أن تكون الحياة بعيدة الاحتمال للغاية، لدرجة أنها نشأت مرة واحدة فقط في كون يحتوي على مئات المليارات من المجَرّات، كل منها يحتوي على مئات المليارات من النجوم، وكثير منها يحتوي على كواكب مدارية؟ أم هل الحياة هي النتيجة الطبيعية،

وربما حتى النتيجة الحتمية، لظروف بيئية أساسية وشائعة نسبيًّا، مما يشير إلى وفرة الحياة داخل الكون؟

من أجل تناول أسئلة لها مثل هذا النطاق الواسع، نحتاج إلى مبادئ ذات نطاق مماثل. رأينا حتى الآن أدلة وفيرة على التطبيق الواسع للديناميكا الحرارية، وهي نظرية فيزيائية وصفها أينشتاين بأنها الوحيدة التي يمكن أن يعلن بثقة أنها «لن تسقط أبدًا»[40]. وربما نستطيع في خضم عملية تحليل طبيعة الحياة -أصلها وتطورها- أن نعمم المنظور الديناميكي الحراري على نطاق أكبر.

وهذا ما فعله العلماء بالضبط على مدى العقود القليلة الماضية. ويحلل المجال البحثي الناتج (والمُسمى *الديناميكا الحرارية اللامتوازنة*) بشكل منهجي أنواع المواقف التي واجهناها مرارًا وتكرارًا: الطاقة العالية الجودة التي تدور داخل نظام، بحيث تزوّد رقصة الإنتروبيا الثنائية بالطاقة، وبذا تمكّن النظام من مقاومة الانجراف نحو الاضطراب الداخلي الذي كانت ستدين له الهيمنة لولا وجود هذه الطاقة. وقد طوّر الكيميائي الفيزيائي البلجيكي إيليا بريجوجين، الذي فاز بجائزة نوبل العام 1977 لعمله الرائد في هذا المجال، الرياضيات الخاصّة بتحليل ترتيبات المادة التي يمكن أن تصير منتظمة عندما تتعرّض إلى مصدر مستمر للطاقة؛ وهو ما أسماه بريجوجين «النظام من رحم الفوضى». إذا كنت قد درست مقرّرًا قويًّا للفيزياء في المدرسة الثانوية، ربما تكون قد واجهت مثالًا بسيطًا ومثيرًا للإعجاب، وهو خلايا بينارد. إذا قمت بتسخين طبق مسطح يحتوي على بركة زيت لزج لن يحدث الكثير في البداية، ولكن مع الزيادة التدريجية في الطاقة المتدفّقة عبر السائل، تعمل الحركات الجزيئية العشوائية على تحقيق تنظيم مرئي. عند النظر إلى الزيت من أعلى، سترى فسيفساء مؤلفة من مجموعة من الغرف السداسية الصغيرة. وعند النظر من الجانب، سترى السائل يتدفّق في نمط ثابت ومنتظم، بحيث يرتفع من قاع كل غرفة سداسية، ليصل إلى القمة، ثم يعود إلى قاع الغرفة.

من منظور القانون الثاني للديناميكا الحرارية، فإن هذا الترتيب التلقائي غير متوقّع تمامًا. وهو ينشأ لأن جزيئات السائل خاضعة لتأثير بيئي معيّن: إذ يجري تسخينها باستمرار بواسطة اللهب. وهذا الحَقن المستمر للطاقة له تأثير كبير. في أي منظومة، ستحدث من حين لآخر تقلبات تلقائية تشكّل لحظيًّا نمطًا موضعيًّا منتظمًا صغيرًا. وعادة ما تتبدّد هذه التقلبات الصغيرة بسرعة لتعود إلى الشكل المضطرب. غير أن تحليل بريجوجين أظهر أنه عندما تكون الجزيئات في بعض الأنماط الخاصّة فإنها تبرع بصورة استثنائية في امتصاص الطاقة، وهذا يجعل مصيرها مختلفًا. وإذا تلقّت

المنظومة الفيزيائية دَفقًا ثابتًا من الطاقة المركزة من البيئة، يمكن للأنماط الجزيئية الخاصّة أن تستخدم الطاقة للحفاظ على شكلها المنظم أو حتى تحسينه، مع التخلص من صورة متدهورة من تلك الطاقة (أصعب في الوصول إليها، وأكثر انتشارًا) إلى البيئة. ويقال إن الأنماط المنظّمة تبدّد الطاقة ومن ثَم فإنها تُسمى *البِنى المُبدِّدة*. تزداد الإنتروبيا الإجمالية، بما في ذلك الإنتروبيا البيئية، ولكن عبر ضخ الطاقة بشكل ثابت في أي منظومة، يمكننا خلق النظام والحفاظ عليه من خلال رقصة الإنتروبيا الثنائية.

يطابق وصف بريجوجين التفسير الفيزيائي، الذي يعود إلى شرودنجر، والمتعلّق بالكيفية التي تتجنّب بها الكائنات الحية الاضمحلال الإنتروبي. لا يعني هذا أن خلايا بينارد حية، وإنما يعني أن الكائنات الحية بنَى مُبدِّدة؛ إذ تمتص الطاقة من البيئة المحيطة، وتستخدمها في الحفاظ على شكلها المنظّم أو تحسينه، وتطلق شكلًا متدهورًا من تلك الطاقة إلى البيئة. وقد قدّمت نتائج بريجوجين وصفًا رياضيًّا دقيقًا لشعاره «النظام من رحم الفوضى»، وتكهّن العديد من الباحثين اللاحقين بأن من الممكن تطوير الحسابات الرياضية بدرجة أكبر، بما يقدّم نظرة ثاقبة حول كيفية ظهور الجزيئات المنظّمة الضرورية للحياة من فوضى الحركات الجزيئية العشوائية التي حدثت في الأرض المبكرة.

من بين المساهمات العديدة في هذا البرنامج، تتّسم أعمال جيريمي إنجلاند (التي توسع نطاق النتائج السابقة التي توصل إليها باحثون مثل كريستوفر يارزينسكي وجافين كروكس) بكونها مثيرة للاهتمام بشكل خاص[41]. ومن خلال تلاعبات رياضية ذكية، استفاض إنجلاند في توضيح تبعات القانون الثاني للديناميكا الحرارية عندما يُطَبّق على الأنظمة التي تستمد طاقتها من مصدر خارجي. وللحصول على فكرة عن النتيجة، تخيل أنك تركب أرجوحة في ملعب أطفال. كما يعرف كل طفل بشكل حدسي، فإنك بحاجة إلى دفع ساقيك (وإمالة جسدك) بالمعدل الصحيح لبدء التأرجح والحفاظ على حركة إيقاعية سلسة. وهذا المعدل، وفقًا لمبادئ الفيزياء الأساسية، يعتمد على المسافة بين المقعد ومحور الأرجوحة. وإذا قمت بدفع ساقيك بمعدل خاطئ، فإن عدم التطابق في الإيقاع سيمنع الأرجوحة من امتصاص الطاقة التي توفّرها بكفاءة، ومن ثَم لن تتأرجح عاليًا. لكن تخيل أن هذه الأرجوحة تحديدًا لها خاصية غير عادية: فعندما تدفع ساقيك، يتغير طول الأرجوحة، بحيث يتم تعديل فترة حركتها لتتوافق مع حركة ساقيك. هذا «التكيف» يمكِّن الأرجوحة من التوافق بسرعة، والاستفادة من الطاقة التي تقدّمها، والوصول سريعًا إلى ارتفاع مُرضٍ في كل دورة. وبالتبعية فإن الطاقة الناتجة عن عملية الدفع الخاصة بك تُمتَص عن طريق الأرجوحة، لكنها لا تدفع الأرجوحة إلى أعلى. ولكن عوضًا عن ذلك فإن الطاقة التي تدخلها تحافظ على حركة الأرجوحة ثابتة

من خلال العمل ضد قوى الاحتكاك التعويضية، وكذلك، في الوقت نفسه، إنتاج الهَدر (الحرارة والصوت وما إلى ذلك) الذي يتم تبديده في البيئة (على افتراض أنك لست مغامرًا مثل ابنتي، التي تنتظر وصول الأرجوحة إلى أعلى نقطة كي تقفز من المقعد، وتحلق، ثم تبدد الطاقة عن طريق الهبوط بقوة على الأرض).

كشف تحليل إنجلاند الرياضي أنه في النطاق الجزيئي، من الممكن للجُسَيْمات التي «تُدفَع» بواسطة مصدر خارجي للطاقة أن تمر بتجربة مماثلة لتلك التي مررت أنت بها في الملعب. فبإمكان مجموعة جُسَيْمات تتسم بالعشوائية مبدئيًا تعديل ترتيبها كي «تتوافق معًا»؛ بحيث تشكّل ترتيبًا يمتص الطاقة بكفاءة أكبر من البيئة، ويستخدمها للحفاظ على الحركة أو البنية الداخلية المنظّمة أو تعزيزها، ثم تبديد شكل متدهور من تلك الطاقة إلى البيئة.

أطلق إنجلاند على هذه العملية اسم *التكيف التبديدي*. ومن الممكن أن توفّر هذه العملية آلية عامة لحث منظومات جزيئية معينة على النهوض وبدء رقصة الإنتروبيا الثنائية. وبما أن هذا هو ما تفعله الكائنات الحية من أجل العيش -إذ تستهلك طاقة عالية الجودة، وتستخدمها، ثم تعيد طاقة منخفضة الجودة في شكل حرارة ومخلفات أخرى- فربما لعب التكيف التبديدي دورًا أساسيًا في نشأة الحياة[42]. يذكر إنجلاند أن التضاعف نفسه أداة فعالة للتكيف التبديدي؛ فإذا أصبحت مجموعة صغيرة من الجُسَيْمات بارعة في امتصاص الطاقة واستخدامها وتبديدها، فسيكون من الأفضل وجود مجموعتين من هذه الجُسَيْمات، أو أربعة، أو ثمانية، وهكذا دواليك. وربما تكون الجزيئات القادرة على التضاعف نتاجًا متوقّعًا لعملية التكيف التبديدي. وبمجرد ظهور الجزيئات المتضاعفة على المشهد، تستطيع الداروينية الجزيئية ممارسة عملها، وتبدأ الرحلة إلى الحياة.

لا تزال هذه الأفكار في مراحلها الأولى، لكن لا يسعني إلّا التفكير في أنها كانت ستسعد شرودنجر. فباستخدام المبادئ الفيزيائية الأساسية، طوّرنا فهمًا للانفجار العظيم، وتشكّل النجوم والكواكب، وبناء الذرات المعقّدة، والآن نحدّد كيف يمكن لتلك الذرات أن تنتظم في جزيئات قادرة على التضاعف ومتكيفة بشكل جيد مع عملية استخلاص الطاقة من البيئة، وذلك من أجل بناء أشكال منظمة والحفاظ عليها. وفي ضوء قدرة الداروينية الجزيئية على اختيار مجموعات الجزَيْئات ذات الصلاحية الأكبر، يصير بوسعنا أن نتصوّر كيف يمكن لبعض الجزيئات اكتساب القدرة على تخزين المعلومات ونقلها. ويشكل دليل التعليمات، المنقول من جيل جزيئي إلى الجيل التالي، والذي يحفظ استراتيجيات الصلاحية المُجرَّبة عمليًا، قوة فعالة للهيمنة

الجزيئية. وعن طريق العمل على مدار مئات الملايين من الأعوام، ربما تكون هذه العمليات قد نحتت تدريجيًا أولى صور الحياة.

وسواء صمدت تفاصيل هذه الأفكار أمام الاكتشافات المستقبلية أم لا، فقد بدأ الشكل العام لقصة الحياة يتشكّل من منظور الفيزياء. وإذا ثبت أن هذه القصة عامة كما توحي الدراسات الأخيرة، فربما تكون الحياة سمة مشتركة للكون. وعلى الرغم مما تتّسم به هذه الفكرة من إثارة، إلّا أن الحياة شيء، والحياة الذكية شيء آخر. فالعثور على ميكروبات على كوكب المريخ أو على قمر المشتري أوروبا، سيكون اكتشافًا ضخمًا. لكن ككائنات مفكّرة، ومتحاورة، ومبدعة، سنظل وحيدين.

ما الطريق، إذًا، من الحياة إلى الوعي؟

الفصل الخامس

الجُسَيْمات والوعي

من الحياة إلى العقل

في موضع ما بين الخلايا البدائية النوى التي كانت موجودة منذ أربعة مليارات عام، والخلايا العصبية البالغ عددها 90 مليار خلية الموجودة في الدماغ البشري والمتّصلة في شبكة من مائة تريليون وصلة مشبكية، ظهرت القدرة على التفكير والشعور، والحب والكراهية، والخوف والشوق، والتضحية والتبجيل، والتخيل والإبداع؛ وهي قدرات جديدة أنتجت إنجازات مذهلة، ودمارًا لا يوصَف بالمثل. «كل شيء يبدأ بالوعي، ولا شيء يستحق أي شيء إلّا من خلاله»[1]، هكذا قال ألبير كامو. ومع ذلك فحتى سنوات قليلة ماضية كان الوعي كلمة غير مرحّب بها في العلوم النظامية. بطبيعة الحال من الممكن أن يُغفَر للباحثين المتخبطين الذين يعانون من ترنح حياتهم المهنية التحوّل إلى موضوع العقل المحفوف بالخطر، غير أن هدف البحث العلمي السائد هو فهم الواقع الموضوعي. وفي نظر الكثيرين، ولفترة طويلة من الزمن، لم يكن الوعي مؤهلًا وفق هذا المعيار. وعلى أي حال، لا يسمع الصوتَ الذي يتردد داخل عقلك أحدٌ سواك.

إنه موقف مثير للمفارقة. إن عبارة ديكارت، «أنا أفكر، إذن أنا موجود»، تلخّص اتصالنا بالواقع. فكل شيء آخر من الممكن أن يكون وهمًا، لكن التفكير هو الشيء الوحيد الذي يمكن حتى لأشد المتشكّكين أن يكون متأكّدًا منه. وبغضّ النظر عن عبارة أمبروز بيرس الساخرة: «أعتقد بأنني أفكر، لذا أعتقد بأنني موجود»[2]، فإذا كنت تفكر، ستكون الحجة المؤيدة لوجودك قوية. وإذا صرف العلم انتباهه عن الوعي فسيعني هذا الابتعاد عن الشيء ذاته، الشيء الوحيد، الذي يمكن لكل منا الاعتماد عليه. وفي الواقع، أنكر كثيرون على مدار آلاف الأعوام أن الموت يعني نهاية كل شيء، وذلك عن طريق تعليق آمالهم الوجودية على الوعي. فالجسم يموت. هذا واضح وجليّ ولا يمكن إنكاره. غير أن صوتنا الداخلي الذي يبدو متواصلًا، علاوة على الأفكار والأحاسيس والمشاعر الوفيرة التي تملأ كل عالم من عوالمنا الذاتية، تشي بأن هناك وجودًا أثيريًّا تخيل البعض أنه قائم في ما وراء الحقائق الأساسية للوجود المادي. مُنح هذا الوجود

أسماء عدة، كجوهر الذات والنفس والروح الخالدة، غير أن كل هذه الأسماء تشير إلى الاعتقاد بأن الذات الواعية تتّصل بشيء يتجاوز الشكل المادي، شيء يسمو فوق العلم الميكانيكي التقليدي. فلا يربطنا العقل بالواقع وحسب، بل ربما يربطنا بالخلود كذلك.

هنا يكمن تفسير أوضح لمقاومة العلوم النظامية لكل ما يتصل بالوعي لفترة طويلة. فالعلم يستجيب إلى الحديث عن العوالم الخارجة عن متناول القوانين الفيزيائية بأن يعبس في غضب، ويدير ظهره، ويعود سريعًا إلى المختبر. وهذه السخرية تمثل توجّهًا علميًّا سائدًا، لكنها تسلط الضوء أيضًا على فجوة حرجة في السرد العلمي. فلا يزال يتعيّن علينا صياغة تفسير علمي متماسك لخبرة الوعي. ونحن نفتقر إلى سرد قاطع للكيفية التي يجسّد بها الوعي عالمًا خاصًّا من المشاهد والأصوات والأحاسيس. ولا يمكننا الرد، أو على الأقل لا يمكننا الرد بشكل مُقنع، على التأكيدات التي تذهب إلى أن الوعي يوجد خارج نطاق العلم التقليدي. ومن غير المرجح أن تُسد هذه الفجوة في أي وقت قريب. يدرك جُل الأشخاص الذين فكّروا في عملية التفكير أن تفكيك الوعي، وتفسير عوالمنا الداخلية بمصطلحات علمية بحتة، يُعد أحد أكثر التحديات الماثلة أمامنا جَسامة.

أشعل إسحاق نيوتن العلم الحديث عن طريق العثور على أنماط داخل أجزاء الواقع التي يمكن للحواس البشرية أن تصل إليها، وعن طريق نَظْمها في قوانين الحركة الخاصة به. وخلال القرون التالية على ذلك، أدركنا أن مواصلة الطريق الذي بدأه نيوتن تتطلّب خوض ثلاثة مسارات متمايزة: فنحن بحاجة إلى فهم الواقع على نطاقات أصغر كثيرًا من التي تدبّرها نيوتن، وهذا المسار أفضى بنا إلى فيزياء الكم، التي فسّرت سلوك الجُسَيْمات الأساسية، وكذلك العمليات البيوكيميائية التي تقوم عليها الحياة، ضمن أمور كثيرة أخرى. كما أننا بحاجة إلى فهم الواقع على نطاقات أكبر بكثير مما تدبّره نيوتن، وهذا المسار أفضى بنا إلى النسبية العامة، التي فسّرت الجاذبية، وكذلك تَشكّل النجوم والكواكب الأساسية لظهور الحياة، ضمن أمور كثيرة أخرى. وبالنسبة للمسار الثالث، الأشد تعرّجًا على الإطلاق، فإننا بحاجة إلى فهم الواقع على نطاقات أكثر تعقيدًا بكثير مما تدبّره نيوتن، ونتوقّع أن يُفضي بنا هذا المسار إلى تفسيرٍ للكيفية التي تندمج بها مجموعات كبيرة من الجُسَيْمات كي تنتج الحياة وتولّد العقل.

وقد أحسن نيوتن صُنعًا عندما درَّبَ قدراته الفكرية على مشكلات فائقة التبسيط؛ بحيث تجاهل، مثلًا، البنى الداخلية المتلاطمة للشمس والكواكب وعامَلَ كل منها ككرة مُصمتة. إن فن العلوم، الذي أتقنه نيوتن، يكمن في صُنع تبسيطات حصيفة تجعل المشكلات قابلة للتناول مع الاحتفاظ بما يكفي من جوهرها لضمان أن تكون

الاستنتاجات المُستقاة ذات صلة. ويتمثّل التحدّي في أن التبسيط الفعّال في فئة واحدة من المشكلات يمكن ألّا يكون فعالًا في حالة الفئات الأخرى. فإذا نمذجت الكواكب على شكل كرات مصمتة ستتمكّن من تحديد مساراتها بسهولة ودقة، لكن إذا نمذجت رأسك على شكل كرة مصمتة صلبة ستكون الرؤى المتعلقة بطبيعة العقل أقل استنارة. غير أن نبذ التقريبات غير المنتجة والكشف عن آليات العمل الداخلية لنظام يحتوي على العديد من الجُسَيْمات مثل الدماغ -وهو هدف جدير بالثناء- سيتطلّب إتقان مستوى من التعقيد بعيد كل البُعد عن متناول أشد الطرق الرياضية والحاسوبية تعقيدًا في وقتنا الحالي.

ما تغير في الأعوام الأخيرة هو توصّلنا حديثًا إلى سمات قابلة للرصد وللقياس لنشاط الدماغ، وهذه السمات تمنحنا، على أقل تقدير، فرصة الوصول إلى العمليات التي تصاحب الخبرة الواعية بشكل موثوق. فعندما يستطيع الباحثون استخدام التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي من أجل التتبع الدقيق لتدفق الدم الداعم للنشاط العصبي، أو إدخال مسابير دماغية عميقة لرصد النبضات الكهربية المنطلقة على امتداد الخلايا العصبية الفردية، أو استخدام مخططات كهربية الدماغ لمراقبة الموجات الكهرومغناطيسية التي تموج عبر الدماغ، وعندما تكشف البيانات أنماطًا واضحة تعكس كلًّا من السلوك المرصود والإفادات الخاصّة بالخبرة الداخلية، تتعزّز الحجة المؤيّدة لمعاملة الوعي كظاهرة فيزيائية بشكل كبير. وفي الواقع، فإن ثمة باحثين جريئين اعتبروا، بتشجيع من هذا التقدّم المبهر، أن الوقت قد حان لتطوير أساس علمي لخبرة الوعي.

الوعي ورواية القصص

قبل بضع سنوات، وخلال حوار ودّي ولكنْ ساخن، حول دور الرياضيات في وصف الكون، أخبرتُ بشكل قاطع مضيفًا تلفزيونيًا لبرنامج يُعرَض في وقت متأخّر من الليل أنه لم يكن سوى كيس من الجُسَيْمات المحكومة بقوانين الفيزياء. لم تكن هذه مزحة، على الرغم من أنه حوَّلها إلى مزحة على الفور. («مهلًا، هذه عبارة مغازلة رائعة»). ولم أكن أقصد الاستهزاء به أيضًا؛ لأنه في حقيقة الأمر ما ينطبق عليه ينطبق عليّ بالمثل. بدلًا من ذلك فقد نبعت الملاحظة من التزامي الراسخ نحو التفكير الاختزالي؛ الذي يقضي بأنه من خلال استيعاب سلوك المكوّنات الأساسية للكون بشكل كامل، فإننا نروي قصة شديدة الدقة والاكتمال عن الواقع. ليس لدينا مسودة مكتملة لهذه القصة في متناولنا بعد؛ إذ لا يزال العديد من المشكلات في طليعة البحث من دون حلٍّ، وسنواجه بعضها قريبًا. ومع ذلك فبإمكاني أن أتصوّر مستقبلًا يتمكّن فيه

العلماء من تقديم صياغة رياضية كاملة للعمليات الفيزيائية الأساسية المتناهية الصغر الكامنة وراء أي شيء يحدث، في أي مكان وفي أي وقت.

ثمة شيء مريح في هذا الاحتمال، شيء يتناغم في رشاقة مع رأي ديموقريطوس الذي عبَّر عنه قبل ألفين وخمسمائة عام حين قال: «الحلو حلو، والمُر مُر، والحار حار، والبارد بارد، واللون هو اللون، لكن في الحقيقة لا توجد سوى ذرّات وفراغ»[3]. المقصد هنا هو أن كل شيء ينبثق من نفس مجموعة المكونات التي تحكمها نفس المبادئ الفيزيائية. ومن المرجح أن يتم التعبير عن تلك المبادئ عبر حفنة من الرموز المرتبة في مجموعة صغيرة من المعادلات الرياضية، ويشهد على ذلك بضع مئات من السنين من الملاحظة والتجريب والتنظير. وذلك كون أنيق[4].

لكن على الرغم من قوة هذا الوصف، فإنه يظل مجرّد قصة واحدة ضمن القصص العديدة التي نرويها. فلدينا القدرة على تحويل التركيز، وإعادة ضبط دقة الرؤية، والانخراط مع العالم بطرق متنوعة. وفي حين من شأن الوصف الاختزالي الكامل أن يوفّر حجر أساس علميًا، فإن الأوصاف الأخرى للواقع، أي القصص الأخرى، توفّر رؤى يعتبرها الكثيرون أكثر أهمية واتصالًا بنا بسبب قربها من خبراتنا. وكما رأينا فإن سرد بعض هذه القصص يتطلّب مفاهيم ولغة جديدة. وتساعدنا الإنتروبيا في سرد قصة العشوائية والتنظيم ضمن مجموعات الجُسَيْمات الكبيرة العدد، سواء أكانت منبعثة من الفرن أو تندمج داخل النجوم. ويساعدنا التطوّر على سرد قصة الصدفة والانتقاء؛ بينما تتضاعف مجموعات من الجزيئات -سواء حية أو غير حية- وتتضافر وتصير أفضل تكيفًا على نحو تدريجي مع بيئتها.

وثمة قصة يعتبرها الكثيرون أكثر أهمية واتصالًا بنا تركّز على الوعي. فاحتضان الأفكار والمشاعر والذكريات يعني احتضان جوهر الخبرة البشرية. وهي أيضًا قصّة تتطلّب منظورًا مختلفًا من الناحية النوعية عن أي منظور تبنيناه إلى الآن. فمن الممكن دراسة الإنتروبيا والتطوّر والحياة «في العالم الخارجي». وبإمكاننا أن نروي قصصها بالكامل كسرد مُقدَّم من منظور طرف ثالث. نحن شهود على هذه القصص، وإذا اجتهدنا بما يكفي فمن الممكن أن يكون السرد الذي نقدّمه شاملًا. فهذه القصص منقوشة في كتب مفتوحة.

غير أن القصة التي تضم الوعي مختلفة. فالقصة التي تخترق الأحاسيس الداخلية للبصر أو الصوت، أو الغبطة أو الحزن، أو الراحة أو الألم، أو الطمأنينة أو القلق، هي قصة تعتمد على سردٍ من منظور الشخص الأول. وهي تسترشد بصوت الإدراك الداخلي الذي يتحدّث من نصٍّ شخصي يؤلفه كل إنسان منا في ما يبدو. فأنا لا أعايش

العالم من منظوري الذاتي وحسب، ولكن لديَّ شعور واضح بأنني أتحكّم من داخل هذا العالم في أفعالي. وما من شك في أنه عندما يتعلّق الأمر بأفعالك يكون لديك نفس الشعور. سُحقًا لقوانين الفيزياء؛ أنا أفكر، إذًا أنا المتحكم. ويتطلّب فهم الكون على مستوى الوعي قصةً قادرة على التعامل مع واقع ذاتي شديد الخصوصية ويبدو مُستَقِلًّا بالكامل.

من أجل إلقاء الضوء على الإدراك الواعي فإننا بذلك نواجه تحديين متمايزين، ولكنْ مرتبطان. هل يمكن للمادة أن تُنتج، بمفردها، الأحاسيس التي تتخلل الإدراك الواعي؟ هل من الممكن ألّا يتجاوز إحساسنا الواعي بالاستقلالية كونه محض تجسيد لقوانين الفيزياء التي تؤثّر على المادة التي تشكل الدماغ والجسد؟ أجاب ديكارت بالنفي القاطع على هذين السؤالين. وكان يرى أن الاختلاف الجلي بين المادة والعقل يعكس انقسامًا عميقًا. فالكون فيه أشياء تنتمي إلى عالم المادة. وفيه أشياء تنتمي إلى عالم العقل. ويمكن للأشياء التي تنتمي إلى عالم المادة أن تؤثر على الأشياء التي تنتمي إلى عالم العقل، ويمكن للأشياء التي تنتمي إلى عالم العقل أن تؤثر على الأشياء التي تنتمي إلى عالم المادة. غير أن نوعيّ الأشياء مختلفان. وباللغة الحديثة نقول إن الذرّات والجزيئات ليست مادة الفكر. موقف ديكارت جذّاب. فبإمكاني أن أؤكّد على أن الطاولات والكراسي، والقطط والكلاب، والعشب والأشجار تختلف عن الأفكار الموجودة داخل رأسي، وأظن أنك ستؤكد على شعور مماثل. لماذا يكون للجُسَيْمات التي تتألف منها العناصر الملموسة للواقع الخارجي والقوانين الفيزيائية التي تحكمها أي صلة بتفسير عالمي الداخلي المكوّن من خبرتي الواعية؟ ربما ينبغي لنا، إذًا، ألّا يكون فهمنا للوعي مجرّد قصة ذات مستوى أعلى، وألّا يكون مجرّد قصة تُحَوِّل نظرها من الخارج إلى الداخل، ولكن أن تكون قصة من نوع مختلف، قصة تتطلّب ثورة مفاهيمية لا تختلف عن الثورة التي أحدثتها فيزياء الكم والنسبية.

أنا مؤيد تمامًا للثورات الفكرية. فلا شيء أكثر إثارة من اكتشاف يقلب النظرة العالمية المقبولة رأسًا على عقب. وسوف نناقش في ما يلي التطوّرات التي يتصوّر بعض الباحثين في مسألة الوعي أنها قادمة في الطريق. ولكن لأسباب ستتضح في ما بعد، أشعر بأن الوعي أقل غموضًا مما يوحي به الأمر. واتفاقًا مع عبارتي التعجبية التي أدليت بها في البرنامج التلفزيوني الذي يُعرَض في وقت متأخر من الليل، والأهم من ذلك اتفاقًا مع شريحة من الباحثين الذين كرّسوا حياتهم المهنية لهذه الأسئلة، أتوقع أننا ذات يوم قد لا نحتاج من أجل تفسير الوعي إلى أي شيء بخلاف الفهم التقليدي للجُسَيْمات التي تشكل المادة والقوانين الفيزيائية التي تحكمها. ومن شأن هذا أن يسبّب ثورة من نوع ما، ويُرسي هيمنة غير محدودة تقريبًا لقوانين الفيزياء، ويصل إلى

مكان بعيد للغاية في العالم الخارجي للواقع الموضوعي، وإلى أعماق سحيقة في العالم الداخلي للخبرة الذاتية.

في الظلال

ليست كل وظائف الدماغ تستدعي الاحترام الممنوح للوعي؛ فقدرٌ كبير من النشاط العصبي يجري تنظيمه تحت سطح الإدراك الواعي. وبينما تشاهد غروب الشمس، يعالج دماغك بسرعة البيانات التي تحملها تريليونات الفوتونات التي تضرب المستقبلات الضوئية في شبكية العين في كل ثانية، ويحرِّف الصور في دأب من أجل تفسير البقاع العمياء (وهي المواضع التي يتّصل فيها العصب البصري في عيني بالشبكية، كي يحمل البيانات إلى النواة الرُّكبية الوحشية ثم إلى القشرة البصرية)، والتعويض المستمر عن حركة عينيك ورأسك، وتصحيح تأثير الفوتونات المحجوبة أو المُشتتة بسبب أي خلل بالعين، ورفع الجانب الأيمن لكل صورة إلى الأعلى، بحيث يدمج أجزاء كل صورة مشتركة بين كلتا العينين وغير ذلك من أمور، ومع ذلك بينما تتأمّل في هدوء أشعة الشمس الأخيرة، فأنت لا تدرك كل ما يحدث خلف عينيك. وينطبق وصف مماثل على ما يدور أثناء قراءة هذه الكلمات. إن بنية الوعي تمكّنك من التركيز على الأفكار المفاهيمية التي ترمز إليها الكلمات، وتحيل معالجة البيانات المرئية واللغوية الضخمة إلى وظائف دماغية لا تُلاحَظ. وفي مثال أوضح على العمليات الفطرية، التي تحدث يومًا بعد يوم، فأنت تمشي وتتحدّث ويدق قلبك ويتدفّق الدم في جسدك وتقوم معدتك بعملية الهضم وتنقبض عضلاتك، وغير ذلك من الأمور الأخرى، وكل هذا يحدث دون أن يكون مطلوبًا منك أن توليه أقل قدر من الانتباه.

إن الفرضية التي تذهب إلى امتلاء الدماغ بالعمليات المؤثرة الخافية على الإدراك الباطني لها تاريخ طويل، وعُبِّرَ عنها بصور عديدة. استحضرت النصوص الفيدية المكتوبة قبل ثلاثة آلاف عام فكرة اللاوعي، واستمرت الإشارات إلى هذه الفكرة على مدار قرون مع تخمين المفكرين ذوي الفكر الثاقب لأنواع الصفات العقلية غير المتاحة أمام الإدراك الواعي؛ ومن أمثلة هؤلاء القديس أوغسطين: («العقل ليس كبيرًا بما يكفي لاحتواء نفسه: ولكن أين يمكن أن يوجد هذا الجزء الذي لا يحتوي عليه؟»[5])، وتوما الأكويني («لا يرى العقل نفسه من خلال جوهره»[6])، وويليام شكسبير («اذهب إلى صدرك، / واطرق هناك، واسأل قلبك عما يعرفه»[7])، وغوتفريد لايبنتس («الموسيقى هي الممارسة الحسابية الخفية لعقلٍ لا يعي أنه يحسب»[8]). ومن المثير للاهتمام أيضًا العمليات التي يبدو أنها تكمن تحت الرادار ولكنها تولد أصداءً تستطيع المعالجة

الواعية الوصول إليها. فعلى سبيل المثال تكثر القصص التي تتناول قيام العقل اللاواعي بحل المشكلات وتقديم الحلول من تلقاء نفسه. وتأتينا واحدة من أقوى هذه القصص من عالِم الأدوية الألماني أوتو لوفي، الذي استيقظ لفترة وجيزة خلال الليلة السابقة على عيد الفصح العام 1921 وكتب في عجالة فكرة طرأت على ذهنه وهو في المنام. وفي الصباح خامر لوفي شعور قوي بأن الملاحظة الليلية كانت تحتوي على رؤية حيوية، لكنه لم يتمكّن من فك طلاسمها مهما حاول جاهدًا. وفي الليلة التالية راوده نفس الحلم، ولكن هذه المرة ذهب إلى المختبر على الفور واتبع تعليمات الحلم وأجرى تجربة تختبر فرضيته القديمة القائلة بأن العمليات الكيميائية، لا الكهربية، هي أساس الاتصال الخلوي. وبحلول يوم الاثنين كانت التجربة المستوحاة من الحلم قد اكتملت، وأدى نجاحها في نهاية المطاف إلى فوز لوفي بجائزة نوبل[9].

تنحو الثقافة الشعبية إلى ربط أعمال العقل اللاواعي بإسهامات سيغموند فرويد (على الرغم من وجود كادر من العلماء الذين اتّبعوا أفكارًا ذات صلة قبله بسنوات[10])، وبالتيارات الخفية للذكريات والرغبات والصراعات والرهاب والعُقَد المكبوتة التي تصوّر فرويد أنها المحرك تضرب السلوك البشري مرارًا وتكرارًا. ويتمثّل الفرق الجُسَيْم في عصرنا الحديث في أن التخمينات والأفكار الحدسية والبدهية المتعلّقة بحياة العقل تواجه الآن بيانات لم تكن متوفّرة من قبل. وقد طوّر الباحثون طرقًا ذكية لاختلاس النظر وراء العقل وتتبّع النشاط الدماغي الواقع تحت مستوى الإدراك الواعي.

تتضمّن بعض الدراسات الأكثر لفتًا للانتباه مرضى فقدوا درجة من الوظائف العصبية. وثمة حالة معروفة، تخصّ مريضة تُعرَف بالاختصار بي إس، والتي أصيبت بتلف في الجانب الأيمن من الدماغ، وجرى توثيق هذه الحالة في أواخر الثمانينيات على يد بيتر هوليجان وجون مارشال[11]. وكما هو متوقع في هذا النوع من الإصابة، فقد فشلت بي إس في التعرف على أي تفاصيل واقعة في أقصى الجانب الأيسر من أي صورة عُرِضَت عليها. وقد زعمت، مثلًا أن الرسمَيْن المعروضين لأحد المنازل، والمرسومَيْن بلون أخضر داكن، كانا متطابقين، على الرغم من أن الجانب الأيسر من أحد المنزلين كان مشتعلًا بلون أحمر فاقع يجسد حريقًا. ومع ذلك فعندما سُئلت عن أي المنزلين تفضل أن يكون منزلها، كانت تختار باستمرار المنزل الذي لم يكن يحترق. وذهب الباحثون إلى أنه على الرغم من أن بي إس لم تكن قادرة على اكتساب الإدراك الواعي بالحريق، فإن هذه المعلومة دخلت عقلها بصورة خفية وأثّرت على قرارها من وراء الكواليس.

تكشف الأدمغة السليمة أيضًا عن اعتمادها على التأثيرات الخفية. وقد أثبت علماء

النفس أنك حتى إذا كنت تنتبه بقوة، فإن الصورة التي تُعرَض على الشاشة لمدة أقل من أربعين ميلّي ثانية (وتقع بين ومضتين أطول إلى حد ما لصورتين أخريين تُعرفان بالقناعين) ستفشل في الدخول إلى إدراكك الواعي. ومع ذلك، يمكن لهذه الصور الواقعة دون عتبة الوعي التأثير على القرارات الواعية. وثمة ادعاء شهير بحدوث زيادة في استهلاك المشروبات الغازية نتيجة العرض الخاطف لصور واقعة دون عتبة الوعي مكتوب عليها «اشرب كوكاكولا» في دور العرض السينمائي، لكن هذا الزعم ما هو إلّا قصة مُختلقَة مسلية نُشرَت في أواخر الخمسينيات على يد باحث سوقي متعثر[12]. غير أن ثمة دراسات معملية بارعة قدّمت أدلة دامغة على أنواع معينة من العمليات العقلية السرية[13]. على سبيل المثال، تخيل أنك تواجه شاشة يُعرَض عليها بصورة خاطفة أرقامٌ بين 1 و9، ومهمتك هي تصنيف كل رقم منها بسرعة على أنه أكبر من 5 أو أصغر. سيكون زمن رد الفعل الخاص بك أسرع عندما يكون الرقم مسبوقًا بعرض خاطف غير واعٍ لرقم يقع على نفس الجانب من الرقم 5 مثل الرقم المُعطى (على سبيل المثال، عندما يكون الرقم 4 مسبوقًا بعرض خاطف للرقم 3). وعلى العكس من ذلك، سيكون زمن رد الفعل الخاص بك أبطأ عندما يكون الرقم مسبوقًا بعرض خاطف غير واعٍ لرقم يقع على الجانب المعاكس من الرقم 5 مقارنة بالرقم المُعطى (على سبيل المثال، عندما يكون الرقم 4 مسبوقًا بعرض خاطف للرقم 7)[14]. فعلى الرغم من عدم إدراكك الواعي للأرقام المعروضة بصورة خاطفة، فإنها تسلّلت إلى دماغك وأثّرت على استجابتك.

المحصّلة النهائية هي أن دماغك ينسق في الخفاء بين أعجوبة تنظيمية ووظيفية وثالثة متعلّقة بالتنقيب عن البيانات. وعلى الرغم مما تتسم به هذه الأنشطة الدماغية من إثارة للانبهار، فإنها لا تشكل لغزًا مفاهيميًا. فالدماغ يرسل الإشارات ويستقبلها بسرعة على طول الألياف العصبية، مما يمكّنه من التحكم في العمليات البيولوجية وتوليد استجابات سلوكية. ومن أجل تحديد المسارات العصبية الدقيقة والتفاصيل الفيسيولوجية الكامنة وراء هذه الوظائف والسلوكيات، يواجه العلماء المهمّة الشاقة المتمثّلة في رسم خرائط لمساحات شاسعة مكتظة بالدوائر البيولوجية المعقّدة على مستوى من الدقّة يتجاوز بكثير ما تم تحقيقه حتى الآن. ومع ذلك فإن كل ما نتعلّمه يشير إلى أنه بغضّ النظر عن صعوبة المهمة، وبغضّ النظر عن الاتساع الشديد لمستودعات الإبداع والاجتهاد المطلوبة، ثمة سبب وجيه للاعتقاد بأن استراتيجيات العلم المألوفة سوف تسود.

ولولا خاصية واحدة مكدّرة من خصائص العقل، لكانت هذه نهاية القصة. لكن عندما ننظر إلى ما وراء مهمّات العقل ونتدبر بدلًا من ذلك أحاسيس العقل -الخبرة

الداخلية التي نضاهيها بجوهر كوننا بشرًا- وصل بعض الباحثين إلى تشخيص مختلف وأقل تفاؤلًا بكثير لقدرة العلم التقليدي على تقديم رؤى مفيدة. وهذا يقودنا إلى ما يسميه البعض «مشكلة الوعي الصعبة».

المشكلة الصعبة

في رسالة بعثها إسحاق نيوتن إلى هنري أولدنبرج، ضمن واحدة من أشهر المراسلات التي جرت خلال السنوات التأسيسية للعلم الحديث، قال: «ليس من السهل عليّ أن أحدّد على نحو قاطع ماهية الضوء... وبأي وسيلة أو أفعال ينتج في عقولنا وهم الألوان. ولن أخلط التخمينات باليقينيات»[15]. كان نيوتن يسعى جاهدًا إلى تفسير أكثر الخبرات شيوعًا: الإحساس الداخلي بلون أو آخر. لنأخذ الموز كمثال. ليس من الصعب، بطبيعة الحال، النظر إلى الموزة وتحديد أن لونها أصفر. وبإمكان هاتفك أن يقوم بهذا إذا كان لديك التطبيق المناسب. ولكن على حد علمنا، عندما يفيد هاتفك بأن الموزة صفراء، فإن الهاتف ليس لديه شعور داخلي باللون الأصفر. ولا يمتلك إحساسًا داخليًا باللون الأصفر. وهو لا يرى اللون الأصفر في عقله. أنت تفعل. وكذلك أنا، وكذلك نيوتن. وكان المأزق الذي يعاني منه نيوتن يتمثّل في فهم الكيفية التي نفعل بها ذلك.

يمتد هذا المأزق إلى ما وراء «الأوهام» العقلية للون الأصفر أو الأزرق أو الأخضر. فبينما أكتب هذه الكلمات وأتسلّى بتناول وجبة خفيفة من الفشار وأشغِّل موسيقى هادئة في الخلفية، أشعر بطيف من الخبرات الداخلية: الضغط على أطراف أصابعي، الطعم المالح، الأصوات الرائعة لفرقة بينتافونيكس، وحوار ذاتي عقلي يتدبر الكلمة التالية في هذه العبارة. يستوعب عالمك الداخلي هذه الكلمات، وربما يسمعها فيما يجري التحدث بها بواسطة صوت عقلك الداخلي، بينما قد تشعر أيضًا بالتشتت بسبب التفكير في آخر قطعة من فطيرة الشوكولاتة الموجودة في الثلاجة. المقصد هنا، هو أن عقولنا تستضيف مجموعة من الأحاسيس الداخلية -الأفكار، والعواطف، والذكريات، والصور، والرغبات، والأصوات، والروائح، وغير ذلك الكثير- وكلها جزء مما نعنيه بالوعي[16]. وكما في حالة نيوتن والموزة، يكمن التحدّي في تحديد الكيفية التي تُنشئ بها أدمغتنا عوالم الخبرة الذاتية النابضة بالحياة هذه وتحافظ عليها.

ومن أجل استيعاب العمق الكامل للغز، تخيل أنك تمتلك رؤية خارقة تتيح لك النظر داخل دماغي ورؤية كل جُسَيْم من جُسَيْمات الدماغ البالغ عددها نحو تريليون تريليون جُسَيْم -من إلكترونات وبروتونات ونيوترونات- وهي تتلاطم وتحتشد وينجذب

بعضها إلى بعض فيما ينفر بعضها من بعض، وكذلك وهي تتدفّق وتتشتّت[17]. خلافًا للمجموعات الكبيرة من الجُسَيْمات المتدفّقة من الرغيف المخبوز أو تلك التي تندمج في قلوب النجوم، فإن الجُسَيْمات التي تشكل الدماغ مرتبة في نمط عالي التنظيم. ومع ذلك فإذا ركزت على أي جُسَيْم بعينه منها فستجد أنه يتفاعل مع الجُسَيْمات الأخرى عبر نفس القوى التي تصفها نفس القواعد الرياضية، سواء أكان الجُسَيْم طافيًا في مطبخك، أو في هالة نجم الشمال، أو داخل قشرتَيّ الجبهية الأمامية. وداخل هذا الوصف الرياضي، الذي تؤكّده عقود من البيانات الواردة من مصادِمات الجُسَيْمات والتليسكوبات القوية، لا يوجد شيء يلمِّح ولو من بعيد إلى الخبرات الداخلية التي تولّدها هذه الجُسَيْمات بطريقة ما. كيف يمكن لمجموعة من الجُسَيْمات العديمة التفكير والشعور بأن تجتمع معًا وتنتج أحاسيس داخلية خاصة بالألوان أو الأصوات، أو البهجة أو العجب، أو الارتباك أو المفاجأة؟ الجُسَيْمات قادرة على امتلاك كتلة وشحنة كهربية وحفنة من السمات المشابهة الأخرى (كالشحنات النووية، وهي نُسَخ أكثر غرابة من الشحنة الكهربية)، غير أن كل هذه الصفات تبدو منفصلة تمامًا عن أي شيء يشبه ولو من بعيد الخبرة الذاتية. فكيف إذًا تصنع دوامة الجُسَيْمات الموجودة داخل الرأس -التي تضم كل الدماغ- الانطباعات والأحاسيس والمشاعر؟

قدّم الفيلسوف توماس ناجل سردًا شهيرًا ومثيرًا للتأمل بشكل خاص لهذه الفجوة التفسيرية[18]. وقد تساءل عما يعنيه أن تكون خُفاشًا؟ تخيل الأمر: أنت تحلق على وسادة من الهواء عبر مشهد طبيعي مظلم، وتطلق أصواتًا عبر مجموعة متواصلة من النقرات، وتولّد أصداءً من الأشجار والصخور والحشرات، وهذا يسمح لك برسم خريطة للبيئة المحيطة. وتدرك، من الصوت المنعكس، أن ثمة بعوضة أمامك تندفع إلى اليمين، لذا تنقضّ وتستمتع بوجبة صغيرة. نظرًا إلى أن طريقة اتصالنا بالعالم مختلفة تمامًا، فهذا كل ما يمكِّننا الخيال من تصوره عن العالم الداخلي للخفاش. وحتى إذا كان لدينا إحصاء كامل لجميع العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية الأساسية التي تجعل الخفاش خفاشًا، سيظل وصفنا عاجزًا عن الوصول إلى خبرة الخفاش الذاتية «من المنظور الأول». ومهما كان فهمنا المادي تفصيليًا، يبدو العالم الداخلي للخفاش خارج متناولنا.

وما ينطبق على الخفاش ينطبق بالمثل على كل واحد منا. فما أنت سوى حشد من الجُسَيْمات المتفاعلة. وأنا أيضًا. وفي حين أنني أفهم الكيفية التي يمكن أن تؤدّي بها جُسَيْماتك إلى تصريحك بأنك ترى اللون الأصفر -فالجُسَيْمات الموجودة في الحنجرة والفم والشفاه تحتاج فقط إلى تنسيق حركاتها لتحقيق هذا السلوك الخارجي- فإنني

سأجد صعوبة بالغة في فهم الكيفية التي تمدّك بها الجُسَيْمات بالخبرة الذاتية الداخلية الخاصة باللون الأصفر. وفي حين أنني أفهم الكيفية التي تؤدي بها جُسَيْماتك إلى الابتسام أو العبوس -مرة أخرى، تحتاج الجُسَيْمات فقط إلى تنسيق حركاتها بالصورة المناسبة- فلن أفهم البتة كيف تنتج الجُسَيْمات إحساسًا داخليًا بالسعادة أو الحزن. وفي الواقع، على الرغم من اتصالي المباشر بعالمي الداخلي، إلّا أنني أعجز بالمثل عن فهم الكيفية التي بزغ بها هذا العالم من حركة جُسَيْماتي وتفاعلها.

بطبيعة الحال سأواجه صعوبة أيضًا عند محاولة تفسير العديد من الأشياء الأخرى بعبارات اختزالية قوية، من أعاصير المحيط الهادئ إلى البراكين الهائجة. بيد أن التحدي الذي تطرحه هذه الحوادث، وعالمٌ مليء بالأمثلة المشابهة، يتمثّل فقط في وصف الديناميات المعقّدة لعدد هائل من الجُسَيْمات. وإذا استطعنا التغلب على هذه العقبة التقنية ستكون المهمة قد انتهت[9]. وسبب ذلك هو أنه لا يوجد إحساس داخلي بـ «ما يعنيه أن تكون» إعصارًا أو بركانًا. فالأعاصير والبراكين، على حد علمنا، ليس لديها عوالم ذاتية من الخبرة الداخلية. نحن لا نغفل عن السرد من منظور الشخص الأول. ولكن في حالة أي كائن واعٍ، فهذا بالضبط هو ما يفتقر إليه وصفنا الموضوعي المُقدَّم من طرف ثالث.

في العام 1994، اعتلى ديفيد تشالمرز، الفيلسوف الأسترالي الشاب ذو الشعر المنسدل على كتفيه، خشبة المسرح في مؤتمر سنوي عن الوعي يُقام في توسان، ووصف هذا العجز بأنه «مشكلة الوعي الصعبة». لا يعني ذلك أن المشكلة «السهلة» -فهم آليات العمليات الدماغية ودورها في غرس الذكريات، والاستجابة إلى المثيرات، وتشكيل السلوك- أمر سهل. كل ما في الأمر أن بإمكاننا تصوّر شكل الحلّ الخاصّ بهذه النوعيات من المشكلات، ويمكننا التعبير عن نهج نظري، يبدو مترابطًا، على مستوى الجُسَيْمات أو البنى الأعقد كالخلايا والأعصاب. وكانت صعوبة تصوّر مثل هذا الحل لمشكلة الوعي هو ما دفع تشالمرز إلى هذا التقييم. وقد ذهب إلى أننا لا نفتقر وحسب إلى جسر يربط بين الجُسَيْمات العديمة العقل والخبرة الواعية، بل إننا إذا حاولنا بناء جسر كهذا باستخدام مخطط اختزالي -بحيث نستخدم الجُسَيْمات والقوانين التي تشكل الأساس الجوهري للعلم كما نعرفه- فسنفشل.

مَسَّ هذا التقييم وترًا حساسًا -توافق مع أفكار البعض وتعارض مع أفكار البعض الآخر- وما برحت أصداؤه تتردّد في أرجاء البحوث المعنية بمشكلة الوعي منذ ذلك الحين.

شيء ما عن ماري

من السهل أن تسفِّه من شأن المشكلة الصعبة. وفي الماضي، ربما كانت استجابتي كذلك. فعندما كُنت أُسأل عنها، كنت في المعتاد أقول إن الخبرة الواعية هي ما تشعر به عندما يحدث نوع معيّن من معالجة المعلومات في الدماغ. ولكن نظرًا إلى أن المشكلة الأساسية تكمن في تفسير كيف يوجد «ما يعنيه أن تكون» من الأساس، فقد كان هذا الردّ يرفض المشكلة الصعبة ببساطة باعتبارها ليست صعبة، ولا حتى مشكلة. إنه رد كريم ينحاز إلى وجهة نظر واسعة الانتشار ترى أن ثمة مبالغة في التشديد على مسألة التفكير. وبينما يذهب بعض المتابعين المتحمسين للمشكلة الصعبة إلى أنه من أجل فهم الوعي سنحتاج إلى إدخال مفاهيم من خارج العلم التقليدي، فإن البعض الآخر -الذين يوصفون بأنهم مؤيدو مذهب *الفيزيائية*(1)- يتوقّعون أن الطرق العلمية، المبنية ببراعة والمُطبقة على نحو إبداعي، والتي تعتمد بالكامل فقط على الخواص الفيزيائية للمادة، ستكفي لإنجاز المهمة. هذا المنظور الفيزيائي المحض يلخص بالفعل وجهة النظر التي اعتنقتُها لفترة طويلة.

ولكن مع مرور الأعوام، وبينما أخذت أفكر في مسألة الوعي بعناية أكبر، مرت بي لحظات مهمة من الشك. وجاءت اللحظة الأكثر إثارة للدهشة عندما صادفت حجة مؤثّرة قدمها الفيلسوف فرانك جاكسون قبل عقد من الزمن من وصف المشكلة الصعبة بأنها صعبة[20]. يروي جاكسون قصة بسيطة، درامية، تسير على النحو التالي: تخيّل أنه في المستقبل البعيد ستوجد فتاة لامعة، تُدعى ماري، وهي مصابة بحالة متقدّمة من عمى الألوان. منذ مولدها وكل شيء في عالمها يظهر أمامها باللونين الأبيض والأسود فقط. تحيّر حالتها أشهر الأطباء، ولذا قرّرت ماري أن تتولى الأمر بمعرفتها. ومن ثَم خاضت ماري سنوات من الدراسة والملاحظة والتجربة المكثفة، مدفوعة في ذلك بحلم علاج عجزها. وخلال كل ذلك، صارت ماري أعظم عالمة أعصاب عرفها العالم على الإطلاق، ووصلت إلى هدف طالما استعصى على البشرية: إذ كشفت بالكامل عن كل التفاصيل المتعلّقة ببنية الدماغ ووظيفته وخواصه الفيسيولوجية والكيميائية والبيولوجية والفيزيائية. تتقن ماري كل شيء يمكن معرفته عن عمل الدماغ، سواء من حيث تنظيمه العام أو عملياته الفيزيائية المتناهية الصغر. وهي تفهم كل عمليات إطلاق

---

(1) مذهب الفيزيائية، أو المادية، أو النظرية الفيزيائية physicalism، هي أطروحة فلسفية وجودية تقضي بأن كل شيء فيزيائي، وأنه لا يوجد شيء فوق أو وراء المادة الفيزيائية (المترجم - ويكيبيديا).

الخلايا العصبية وانهمار شلالات الجُسَيْمات التي تحدث عندما نتعجب من السماء الزرقاء الغنية، أو نستمتع بتناول برقوقة كثيرة العصارة، أو نفقد أنفسنا في السمفونية الثالثة لبرامز.

بفضل هذا الإنجاز تستطيع ماري تحديد علاج عجزها البصري، وتخضع للإجراء الجراحي اللازم لتصحيحه. وبعد أشهر يستعد الأطباء لإزالة الضمادات، وتتأهب ماري لاستيعاب العالم بشكل جديد. تقف ماري أمام باقة من الورود الحمراء، وتفتح عينيها ببطء. إليكم السؤال: من هذه الخبرة الأولى باللون الأحمر، هل ستتعلم ماري أي شيء جديد؟ من خلال امتلاك الخبرة الداخلية للألوان أخيرًا، هل ستكتسب فهمًا جديدًا؟

عند استعراض هذه القصة في عقلك، يبدو من البديهي تمامًا أنه في المرة الأولى التي تشعر فيها ماري بالإحساس الداخلي للون الأحمر، ستشعر بالذهول التام. هل ستُفاجأ؟ نعم. هل ستنتابها سعادة غامرة؟ بالتأكيد. هل ستشعر بالتأثر؟ بشدّة. يبدو بديهيًا أن هذه الخبرة المباشرة الأولى باللون ستوسّع فهمها للإدراك البشري والاستجابة الداخلية التي يمكن أن يولّدها. وانطلاقًا من هذا الحدس الشائع، يشجعنا جاكسون بعد ذلك على التفكير في التبعات. لقد أتقنت ماري كل شيء يمكن معرفته عن آليات العمل الفيزيائية للدماغ. ومع ذلك فقد قامت بتوسيع نطاق تلك المعرفة نتيجة هذا الموقف وحده؛ إذ اكتسبت معرفة بالخبرة الواعية المصاحبة لاستجابة الدماغ للون الأحمر. الاستنتاج؟ *المعرفة الكاملة بآليات العمل الفيزيائية للدماغ تغفل شيئًا ما*. فهي تفشل في الكشف عن الأحاسيس الذاتية أو تفسيرها. وإذا كانت مثل هذه المعرفة الفيزيائية شاملة، لخلعت ماري الضمادات وهزت كتفيها دلالة على عدم المفاجأة.

حين قرأتُ هذا السرد للمرة الأولى شعرت بأنني في موقف مشابه لموقف ماري، كما لو أنني خضعت أيضًا لعملية جراحية تصحيحية فتحت نافذة كنت أجهل وجودها في السابق على طبيعة الوعي. فقد زُعزعَت فجأة ثقتي الكبيرة في أن العمليات الفيزيائية داخل الدماغ هي مرادف للوعي، وأن الوعي هو الإحساس بهذه العمليات. كانت ماري تمتلك كل المعرفة الممكنة بجميع العمليات الفيزيائية للدماغ، ولكن يتضح من حالتها أن هذا الفهم غير كامل. يشير هذا إلى أنه عندما يتعلّق الأمر بالخبرة الواعية، تكون العمليات الفيزيائية جزءًا من القصة، لكنها ليست القصة الكاملة. وعندما خرجت ورقة جاكسون البحثية إلى النور للمرة الأولى، قبل وقت طويل من اطّلاعي عليها، شعر الخبراء أيضًا بالإثارة، وفي العقود التالية أثارت ماري الكثير من الاستجابات.

يطلب منا الفيلسوف دانيال دينيت أن نفكّر تفكيرًا عميقًا في تبعات معرفة ماري

الشاملة بالحقائق الفيزيائية. وجهة نظره هي أن مفهوم الفهم الفيزيائي الكامل غريب علينا تمامًا، لدرجة أننا نقلل من أهمية القوة التفسيرية التي يوفّرها. ويرى دينيت أنه في ضوء هذا الفهم الشامل، من فيزياء الضوء إلى الكيمياء الحيوية للعيون إلى علم أعصاب الدماغ، ستكون ماري قادرة على تمييز الإحساس الداخلي باللون الأحمر قبل التعرض له بفترة طويلة[21]. عند إزالة الضمادات ربما تستجيب ماري لجمال الورود الحمراء، غير أن رؤية لونها الأحمر ستؤكد ببساطة توقّعاتها. يسلك الفيلسوفان ديفيد لويس[22] ولورانس نيميرو[23] مسارًا مختلفًا، إذ يذهبان إلى أن ماري تكتسب قدرة جديدة -قدرة على تمييز الخبرة الداخلية باللون الأحمر وتذكّرها وتصوُّرها- بيد أن هذا لا يشكل حقيقة جديدة توجد خارج ما أتقنته من قبل. عند إزالة الضمادات، ربما لا تهزّ ماري كتفيها تعبيرًا عن عدم المفاجأة، ولكن كلمة «عجبًا» التي ربما تتلفظ بها ستكشف الكثير عن سعادتها بالطريقة الجديدة للتأمل في المعرفة القديمة. وحتى جاكسون نفسه يعارض الآن استنتاجه الأصلي، بعد أن غيَّر موقفه تمامًا بعد سنوات من التفكير في ماري. فنحن معتادون جدًّا على تعلم أشياء بشأن العالم من خلال الخبرة المباشرة، مثل استيعاب إحساسنا باللون الأحمر من خلال رؤية اللون الأحمر، إلى درجة أننا نفترض ضمنيًّا أن هذه الخبرات هي الوسيلة الوحيدة لاكتساب هذه المعرفة. يرى جاكسون أن هذا غير مبرَّر. وفي حين أن عملية تعلم ماري ستكون غير مألوفة، بحيث تعتمد على المنطق الاستنباطي بينما يعتمد المزيد من الأشخاص العاديين على الخبرة المباشرة، فإن إتقانها الكامل للمعرفة الفيزيائية سيمكنها من تحديد ما سيكون عليه شعورها عند رؤية اللون الأحمر[24].

مَنِ المحقُّ؟ جاكسون الأصلي وأتباع رأيه الأول؟ أم جاكسون اللاحق وكل أولئك المقتنعين بأن ماري لن تتعلم شيئًا جديدًا عند رؤية الورود؟

ثمة الكثير على المحك. فإذا كان من الممكن تفسير الوعي من خلال حقائق متعلقة بالقوى الفيزيائية المؤثرة على مكوّنات العالم المادية، فستتمثل مهمتنا في تحديد كيفية حدوث ذلك. وإذا لم يكن الأمر كذلك، فستكون مهمتنا أكثر شمولًا. وسنحتاج إلى تحديد المفاهيم والعمليات الجديدة التي يتطلّبها فهم الوعي، وهي رحلة من شبه المؤكد أنها ستأخذنا إلى ما وراء التخوم الحالية للعلم بكثير.

تاريخيًّا، أبحرنا في ثقة عبر مياه الحدس البشري المتقلّبة عن طريق تحديد النتائج القابلة للاختبار لوجهات النظر المتضاربة. وحتى الآن، لم يقترح أحد تجربة أو يقدم ملاحظة أو عملية حسابية يمكن أن تحسم بصورة نهائية السؤال الذي أثارته قصة ماري أو تكشف عن مصدر الخبرة الداخلية، وهو المسعى الأكثر طموحًا. وفي الغالب،

تمثّل الاعتبارات التي نحكم وفقها على تلك المنظورات التي تحظى بقدر أساسي من الإجماع في معقوليتها ومدى موافقتها للحدس، وهي تدابير مرنة أتاحت، كما سنرى، وجود مجموعة متنوعة من وجهات النظر.

قصة قصتين

تمتد الاستراتيجيات المعنية بتفسير الوعي عبر مجموعة مثيرة للإعجاب من الأفكار. وعند أحد الطرفين القصوَيَين توجد وجهة النظر التي ترفض الوعي وتعتبره محض وهم (*المذهب الإقصائي*) وعلى الطرف الآخر توجد وجهة النظر التي تعلن أن الوعي هو الصفة الوحيدة للعالم التي تتصّف بكونها حقيقية (*المذهب المثالي*). وفي ما بينهما نجد طيفًا من المقترحات. يعمل بعض المقترحات ضمن حدود التفكير العلمي التقليدي، والبعض الآخر ينسلّ بين شقوق الفهم العلمي الحالي، بينما يشدّد البعض الآخر على الصفات التي نعتنقها منذ فترة طويلة لتعريف الواقع عند مستواه الأكثر جوهرية. وتعرض قصتان موجزتان هذه المقترحات ضمن سياقاتها التاريخية.

إذا حدث أن استمعت إلى المناقشات الجارية في الدوائر البيولوجية خلال القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، ستكون على دراية بمفهوم «*الحيوية*» *vitalism*. تناول هذا المفهوم ما يمكن أن نطلق عليه مشكلة الحياة «الصعبة»، ومفادها: إذا كانت المكوّنات الأساسية للعالم غير حية، فكيف يمكن لمجموعات من هذه المكونات أن تكون حية؟ كانت الإجابة، الصريحة والمباشرة، لمفهوم الحيوية هي أن هذه المجموعات لا يمكن أن تكون حية. على الأقل ليس بمفردها. واقترحت الحيوية أن المكوّن المفقود عبارة عن شرارة غير مادية، أو قوة حياة، تمنح المادة الجامدة سحر الحياة.

وإذا حدث أن تحركتَ داخل دوائر فيزيائية معينة خلال القرن التاسع عشر، لسمعت حديثًا متحمّسًا عن الكهرباء والمغناطيسية، بينما تعمق مايكل فاراداي وآخرون أكثر وأكثر في هذا المجال المثير للاهتمام بشكل متزايد. كانت إحدى وجهات النظر التي ستواجهها تذهب إلى أن هذه الظواهر الجديدة يمكن تفسيرها ضمن النهج الميكانيكي القياسي للعلم، ذلك النهج الموروث عن إسحاق نيوتن. قد يكون العثور على المزيج الذكي من السوائل المتدفّقة والتروس والعجلات المصغّرة المسؤولة عن الظواهر الجديدة أمرًا صعبًا، غير أن أساس الفهم كان موجودًا بالفعل. وبسبب الملاءمة المتوقّعة للمنطق العلمي التقليدي، يمكن للمرء أن يطلق على هذه المشكلة اسم مشكلة الكهرباء والمغناطيسية «السهلة».

كشف التاريخ أن التوقّعات الموصوفة في هاتين القصتين كانت مضللة. وبالنظر

إلى الأمر بعد مرور قرنين من الزمن، نجد أن الهالة شبه الروحية التي أحاطت بلغز الحياة من قبل قد تضاءلت. وعلى الرغم من افتقارنا حتى الآن إلى الفهم الكامل لأصل الحياة، فثمة إجماع علمي تقريبًا على أنه لا ضرورة لشرارة سحرية. فالجُسَيْمات المُرتبة في بناء هرمي -الذرات والجزيئات والعضيات والخلايا والأنسجة وما إلى ذلك- هي كل المكونات الضرورية. وتؤيّد الأدلة بقوة أن الإطار الحالي للفيزياء والكيمياء والبيولوجيا كافٍ تمامًا لتفسير الحياة. وبذا فإن مشكلة الحياة الصعبة أعيد تصنيفها باعتبارها مشكلة سهلة، حتى وإن كانت معقدة بالتأكيد.

بالنسبة إلى الكهرباء والمغناطيسية، فرضت البيانات التي جُمِعَت من التجارب الدقيقة على العلماء الذهاب إلى ما وراء سمات الواقع الفيزيائي الواردة في الكتب قبل القرن التاسع عشر. وأفسح الفهم السائد المجال لخاصية فيزيائية جديدة تمامًا للمادة (الشحنة الكهربية) تستجيب لنوع جديد تمامًا من التأثير (المجالات الكهربية والمغناطيسية التي تملأ المكان) والموصوفة بمجموعة جديدة تمامًا من المعادلات (عشرون من هذه المعادلات في الصيغة الأولية) التي طوّرها جيمس كلارك ماكسويل. وعلى الرغم من حل مشكلة الكهرباء والمغناطيسية «السهلة»، إلّا أنه تبين كم كانت صعبة[25].

يتصوّر العديد من الباحثين أن قصة الحيوية ستُعاد مجددًا في حالة الوعي: فبينما نكتسب فهمًا أعمق وأعمق للدماغ، ستتبخّر مشكلة الوعي الصعبة ببطء. وعلى الرغم من أن الخبرة الداخلية تتّسم بالغموض حاليًا، إلّا أنه سيُنظَر إليها تدريجيًا على أنها نتيجة مباشرة للأنشطة الفيسيولوجية للدماغ. وما نفتقده هو الإلمام الكامل بأعمال الدماغ الداخلية، وليس مجموعة جديدة من الرؤى العقلية. ووفقًا لهذا المنظور الفيزيائي فإنه ذات يوم سيبتسم الناس وهم يتذكّرون كيف انغمسنا في دراسة الوعي بمثل هذا الشغف وأكسبناه هالة من الغموض من دون مبرر.

ويتصوّر آخرون أن تقدم قصة الكهرومغناطيسية النموذج المهم للوعي. فعندما يواجه فهمك للعالم حقائقَ محيِّرة، ستحاول بشكل طبيعي دمجها في الإطار العلمي الحالي. بيد أن بعض الحقائق قد لا تناسب القوالب الموجودة. وبعض الحقائق ربما تكشف عن خواص جديدة للواقع. ووفقا لهذا المعسكر فإن الوعي يزخر بالحقائق من هذا النوع فقط. وإذا ثبتت صحة هذا المنظور، فإن فهم الخبرة الذاتية سيتطلّب عملية إعادة تشكيل جوهرية للميدان الفكري، مع إمكانية حدوث تشعّبات عميقة قد يكون لها تأثير يتجاوز بكثير الأسئلة المتعلّقة بالعقل.

ويأتينا واحد من أكثر هذه المقترحات ثوريةً من ديفيد تشالمرز، صاحب المشكلة الصعبة نفسه.

كان تشالمرز مقتنعًا بأن الإدراك الواعي لا يمكن أن يبزغ من دوامة من الجُسَيْمات الطائشة، وهو يشجعنا على تدبر قصة الكهرومغناطيسية وتطبيقها على حالتنا. فمثلما واجه فيزيائيو القرن التاسع عشر بشجاعة عدم جدوى الجمع بين تفسيرات مبتورة للظواهر الكهرومغناطيسية باستخدام العِلم التقليدي في ذلك الوقت، فإننا بحاجة إلى التحلّي بشجاعة مماثلة كي ندرك أن إزالة هالة الغموض المحيطة بالوعي تفرض علينا النظر إلى ما وراء الخواص الفيزيائية المعروفة.

ولكن كيف؟ يتمثل أحد الاحتمالات البسيطة والجريئة في أن الجُسَيْمات الفردية نفسها تتمتّع بخاصية وعي فطرية -يمكن تسميتها *الوعي الأوَّلي* كي نتجنّب الصور الذهنية الخاصة بالإلكترونات المبتهجة أو الكواركات النزقة- لا يمكن وصفها بواسطة أي شيء أكثر جوهرية. يعني هذا أن وصفنا للواقع يجب أن يتسع كي يشمل خاصية ذاتية فطرية وغير قابلة للاختزال تتخلّل المكونات المادية الأساسية للطبيعة. لقد تجاهلنا هذه الخاصية للمادة لفترة طويلة، ولهذا السبب فشلنا حتى الآن في تفسير الأساس المادي للخبرة الواعية. كيف يمكن لدوامة من الجُسَيْمات الطائشة أن تخلق العقل؟ لا يمكنها. فمن أجل خلق عقلٍ واعٍ ستحتاج إلى دوامة من الجُسَيْمات الواعية. ويمكن لمجموعة كبيرة من الجُسَيْمات، من خلال تجميع صفاتها الواعية، أن تنتج خبرة الوعي المألوفة. يتمثّل المُقترَح، إذًا، في أن الجُسَيْمات مزوَّدة بمجموعة مدروسة جيدًا من الخواص الفيزيائية (الكتلة، الشحنة الكهربية، الشحنات النووية، اللف الميكانيكي الكمّي) علاوة على خاصّية الوعي الأوَّلي التي كانت محل تجاهل من قبل. يعيد تشالمرز بهذا إحياء معتقدات الروحية الشاملة[1]، التي تمتد جذورها التاريخية إلى زمن اليونان القديمة، ويتفكّر في احتمالية أن يكون الوعي وثيق الصلة بأي شيء وكل شيء مصنوع من الجُسَيْمات، سواء دماغ الخفاش أو مضرب البيسبول.

إذا كنت تتساءل عن ماهية الوعي الأوَّلي أو عن الكيفية التي يتغلغل بها الجُسَيْم فإن فضولك يستحقّ الثناء، غير أن أسئلتك تتجاوز ما يستطيع تشالمرز أو أي شخص آخر الإجابة عنه. ومع ذلك فمن المفيد رؤية هذه الأسئلة في سياقها. وإذا سألتني أسئلة مشابهة حول الكتلة أو الشحنة الكهربية، فمن المرجح ألّا تجد إجابات مُرضية بالمثل. فأنا لا أعرف ما هي الكتلة. ولا أعرف ما هي الشحنة الكهربية. ما أعرفه هو أن

(1) الروحية الشاملة panpsychism، هو مذهب فلسفي يقول إن الوعي أو العقل أو الروح هي خاصية أساسية في كل الأشياء، وأنها هي الخاصية الابتدائية التي اشتُقت منها بقية الخصائص (المترجم).

الكتلة تنتج قوة الجاذبية وتستجيب لها، والشحنة الكهربية تنتج القوة الكهرومغناطيسية وتستجيب لها. ومن ثَم، فعلى الرغم من أنني لا أستطيع أن أخبرك بماهية سمات هذه الجُسَيْمات، فإن بوسعي أن أخبرك بما تفعله هذه السمات. وبالمثل، قد يعجز الباحثون عن تحديد ماهية الوعي الأولي، ومع ذلك فقد ينجحون في تطوير نظرية حول ما يفعله؛ أيْ كيف ينتج الوعي ويستجيب له. في حالة تأثيرات الجاذبية والكهرومغناطيسية فإن أي قلق من أن الاستعاضة عن الفعل والاستجابة بتعريف جوهري ليس أكثر من خفة يد فكرية ستهدأ حدته، لدى جُل الباحثين، بفضل التنبوءات الدقيقة المذهلة التي يمكننا استخلاصها من نظرياتنا الرياضية الخاصة بهاتين القوتين. وربما سيكون لدينا ذات يوم نظرية رياضية للوعي الأوَّلي يمكنها تقديم تنبوءات ناجحة مماثلة. لكن في الوقت الحالي لا توجد نظرية كهذه.

على الرغم من الغرابة التي قد يبدو عليها كل هذا، فإن تشالمرز يذهب إلى أن نهجه متوافق تمامًا مع حدود العلم، وذلك إذا فُسِّرَ على النحو الصحيح. فقد ركّز العلماء على مدار قرون حصريًّا على التكشُّف الموضوعي للواقع، وسعيًا وراء هذا الهدف طوَّروا معادلات تفسّر البيانات التجريبية والرصدية على نحو بارع. غير أن هذه البيانات متاحة بالكامل للاستعراض من منظور الطرف الثالث. ويقترح تشالمرز أن هناك بيانات أخرى، بيانات خاصّة بالخبرة الداخلية، ومعادلات أخرى أيضًا تجسّد الأنماط والانتظام في النطاق الداخلي. وهكذا فمن شأن العلوم التقليدية أن تفسّر البيانات الخارجية في حين ستفسر الحقبة القادمة من العلوم البيانات الداخلية.

بالتعبير عن الأمر بطريقة مختلفة قليلًا، نقول إنه لسنوات عديدة كانت هناك حركة دؤوبة، يُنسَب الفضل فيها كثيرًا إلى الفيزيائي جون ويلر (المعروف للجمهور لنشر مصطلح «الثقوب السوداء»)، تتصوّر المعلومات باعتبارها العملة الفيزيائية الأكثر جوهرية. ومن أجل وصف حالة العالم الآن فإنني أقدّم معلومات تُحَدِّد تكوين كل الجُسَيْمات الراقصة والمجالات المتموّجة التي تتخلّل الفضاء. تأخذ قوانين الفيزياء تلك المعلومات كمدخلات وتنتج كمخرجات معلوماتٍ تُفَصِّل حالة العالم في وقت لاحق. ووفق هذا الإطار فإن الفيزياء منخرطة في عملية معالجة المعلومات.

وباستخدام هذه اللغة يقضي مُقترَح تشالمرز بأن هناك جانبَيْن للمعلومات: فهناك الجانب الموضوعي المتاح للأطراف الخارجية، وهذه المعلومات شكّلت على مدار مئات الأعوام نطاق عمل الفيزياء التقليدية. وهناك أيضًا الجانب الذاتي المتاح من منظور الشخص الأول، ولم تأخذ الفيزياء هذا الجانب في الاعتبار حتى الآن. وستحتاج أي نظرية فيزيائية كاملة إلى أن تشتمل على المعلومات الخارجية وكذلك

المعلومات الداخلية، وستحتاج إلى قوانين تصف التطوّر الديناميكي لكلا النوعين. ومن شأن معالجة المعلومات الداخلية أن توفّر الأساس الفيزيائي للخبرة الواعية.

أطلِقَ على حلم أينشتاين نظرية فيزيائية موحّدة، نظرية قادرة على وصف كل جُسَيْمات وقوى الطبيعة داخل إطار رياضي واحد، اسم البحث عن نظرية كل شيء. وهذا الوصف المُنمّق بصورة تدعو إلى الأسف، الذي كثيرًا ما يُطَبّق على مجال تخصّصي؛ نظرية الأوتار، يفسر لماذا أُسأل كثيرًا عن آرائي في مسألة الوعي. فعلى أي حال يبدو أن الوعي يتوافق جيدًا مع نظرية قادرة على تفسير كل شيء. ومع ذلك، وكما أخبرت مرارًا وتكرارًا أولئك الذين يسألونني، فإن فهم فيزياء الجُسَيْمات الأولية أمر، بينما استغلال ذلك الفهم من أجل سبر أغوار العقل البشري أمر مختلف تمامًا. إن بناء الأدوات العلمية التي تربط النطاقات الشديدة التباين، سواء من حيث الحجم أو التعقيد، يُعد من أصعب التحدّيات العلمية الماثلة أمامنا. ومع ذلك فإذا كان تشالمرز مُحقًّا، فسيدخل الوعي السرد العلمي من الطابق الأرضي، عند مستوى المعادلات الأساسية والمكوّنات البدائية. وهذا يعني أننا ربما نمتلك يومًا ما فَهمًا يدمج من البداية الجانبين الخارجي والداخلي لمعالجة المعلومات؛ أي العمليات المادية الموضوعية والخبرات الواعية. من شأن *تلك* النظرية أن تكون موحّدة. وسأواصل مقاومة مصطلح «نظرية كل شيء» -إذ أتوقع أنه سيكون من الصعب على العلماء التنبؤ بما سأتناوله في وجبة الإفطار غدًا- غير أن من شأن هذا الفهم أن يكون ثوريًّا.

هل هذا هو الاتجاه الصحيح؟ سأكون سعيدًا للغاية إذا كان الأمر كذلك. فهذا يعني أننا نقف على تخوم منطقة جديدة بالكامل من الواقع تنتظر الاستكشاف. ولكن كما توقّعت على الأرجح، ثمة شك كبير في أن يحتاج العلم، في خضم سعيه للعثور على مصدر الوعي، إلى السفر إلى هذه الأرض الغريبة. ويعد القول المأثور الوارد على لسان كارل ساجان، والذي يقضي بأن المزاعم الاستثنائية تتطلّب أدلة استثنائية، مُرشدًا ملائمًا. هناك أدلة دامغة على وجود شيء استثنائي -خبراتنا الداخلية- لكن الأدلة القائلة بأن هذه الخبرات تقع بعيدًا عن القدرة التفسيرية للعلم التقليدي أقل إقناعًا بكثير.

ومن شأن فهمنا أن يصير أعمق إذا أمكننا تحديد الظروف المادية اللازمة لتوليد الخبرات الذاتية، وهي مهمة أساسية لنظرية الوعي التي نتدبّرها الآن.

العقل ودمج المعلومات

لا خلاف على أن الدماغ عبارة عن مجموعة من الخلايا المتغضّنة الرطبة المعالِجة للمعلومات. وقد أثبتت الفحوص الدماغية والمجسّات الداخلية أن ثمة أجزاء مختلفة

من الدماغ تتخصّص في معالجة أنواع معينة من المعلومات؛ البصرية والسمعية والشمية واللغوية وما إلى ذلك[26]. ومع ذلك، فإن معالجة المعلومات وحدها لا تجسّد الخواص المميزة للدماغ. ثمة أنظمة فيزيائية كثيرة تعالج المعلومات، من مِعداد الأباكوس إلى منظِّم الحرارة إلى الحاسوب، وإذا تبنينا منظور ويلر بإخلاص يمكن اعتبار كل نظام فيزيائي نظامًا مُعالِجًا للمعلومات. إذًا ما الذي يميّز تنوّع معالجة المعلومات الذي يؤدّي إلى نشأة الإدراك الواعي؟ يوجه هذا السؤال الطبيب النفسي وعالِم الأعصاب جوليو تونوني، الذي انضمَّ إلى هذا البحث عن طريق عالِم الأعصاب كريستوف كوخ. وأدت هذه الأبحاث إلى نهج يُسمى *نظرية المعلومات المتكاملة*[27].

لفهم النظرية، تخيل أنني عرضت عليك سيارة فيراري حمراء جديدة تمامًا. بغض النظر عما إذا كنت من محبي السيارات الرياضية الراقية أم لا، فإن رؤية السيارة ستسبب تدفّق ثروة من البيانات الحسية إلى دماغك. وعلى الفور، تصير المعلومات المعبّرة عن الصفات البصرية واللمسية والشمية للسيارة، علاوة على دلالات أكثر تجريدية من قوة السيارة على الطريق إلى ارتباطها بالترف والثروة، متشابكة داخل خبرة معرفية موحّدة. ويصف تونوني المحتوى المعلوماتي لهذه الخبرة بأنه شديد *التكامل*. وحتى عند التركيز بشكل أكثر تحديدًا على لون السيارة، لاحظ أن خبرتك لا تتعلّق بالتأكيد بسيارة فيراري عديمة اللون يلوّنها عقلك لاحقًا باللون الأحمر. كما أنها ليست متعلّقة ببيئة حمراء تجريدية يشكّلها عقلك لاحقًا على صورة سيارة فيراري. فعلى الرغم من أن معلومات الشكل ومعلومات الألوان تنشّط أجزاء مختلفة من القشرة البصرية، إلّا أن خبرتك الواعية لشكل ولون السيارة الفيراري لا تتجزّأ. فقد خَبُرت الجانبين معًا كشيء واحد. وهذا، بحسب ما يذهب إليه تونوني، يشكّل خاصية جوهرية للوعي: فالمعلومات المتشابكة عبر الخبرة الواعية متماسكة على نحو محكَم معًا.

الخاصية الجوهرية الثانية للوعي هي أن نطاق الأشياء التي يمكنك الاحتفاظ بها في عقلك هائل. فبفضل مجموعة مذهلة من التجارب الحسية، إلى أنشطة الخيال، إلى التخطيط والتفكير المجرد والقلق والتوقّع، يوجد لديك ذخيرة ذهنية لا حدود لها تقريبًا. وهذا يعني أنه عندما يركز عقلك على أي خبرة واعية بعينها، مثل السيارة الفيراري الحمراء، فإنه يميزها بقوة عن الغالبية العظمى من الخبرات العقلية الأخرى التي قد توجد لديك. ويرفع مُقترَح تونوني هذه الملاحظات إلى توصيف محدّد: *فالإدراك الواعي هو معلومات شديدة التكامل وعالية التمايز*.

تفتقر معظم المعلومات إلى هاتين الخاصيّتين. التقط صورة للفيراري الحمراء وتدبّر الملف الرقمي الناتج. لتبسيط الأمور، لا تقلق بشأن تفاصيل مثل ضغط الصورة، وبدلًا

من ذلك تخيل أن الملف عبارة عن مجموعة من الأرقام التي تسجل قيَمها معلومات اللون والسطوع لكل بكسل في الصورة. يتم توليد هذه الأرقام بواسطة الدايودات الضوئية في الكاميرا التي تستجيب إلى الضوء المنعكس من مواقع مختلفة على سطح السيارة. ما مدى تكامل هذه المعلومات؟ نظرًا إلى أن استجابة كل دايود مستقلة عن غيره -فلا يوجد اتصال أو ارتباط بينها- فإن المعلومات الموجودة في الملف الرقمي تكون مجزأة تمامًا. يمكنك تخزين البيان الخاص بكل بكسل في ملف منفصل وسيبقى المحتوى الإجمالي للمعلومات دون تغيير. وهذا يعني أنه لا توجد معلومات متكاملة على الإطلاق. إلى أي مدى تتّسم المعلومات في الملف الرقمي بكونها متمايزة؟

في حين أن هناك تشكيلة واسعة من الصور الممكنة التي يمكن أن يخزنها ملف الكاميرا الرقمي، فإن المحتوى المعلوماتي يقتصر على مجموعة ثابتة من الأرقام المستقلة. هذا كل ما في الأمر. فملف التصوير الرقمي ليس مجهّزًا لتدبر التداعيات الأخلاقية لعقوبة الإعدام أو معارضة إثبات مبرهنة فيرما الأخيرة. وبهذا المعنى يكون المحتوى المعلوماتي محدودًا للغاية، مما يعني أن الكاميرا لا تحقّق الكثير عندما يتعلّق الأمر بتمايز المعلومات.

وهكذا، بينما يُنشئ دماغك تمثيلًا ذهنيًا، سريعًا ما يصير المحتوى المعلوماتي الخاص به شديد التكامل وعالي التمايز، لكن عندما تُنشئ الكاميرا صورة رقمية، فإن المعلومات الخاصة بها لا تكتسب أيًا من هاتين الخاصيتين. ووفق تونوني فإن هذا هو سبب امتلاكك خبرة واعية بالسيارة الفيراري الحمراء في حين لا تكتسب الكاميرا الخاصة بك خبرة كهذه.

وقد اقترح تونوني، مُستهدِفًا جعل هذه الاعتبارات كمية، صيغة تُعَيِّن قيمة عددية للمعلومات المُحتواة داخل أي نظام، يُشار إليها عادة بالرمز Φ، بحيث إنه كلما كانت قيمةΦ أكبر، أشار هذا إلى تمايز أكبر وتكامل أعمق، ومن ثَم، بحسب ما تذهب إليه النظرية، مستوى أعلى من الإدراك الواعي. وبذا يقدّم هذا النهج سلسلة متّصلة من الأنظمة البسيطة، ذات التكامل والتمايز الأقل للمعلومات الذي تَخبُره الأشكال البدائية من الوعي، إلى الأنظمة الأكثر تعقيدًا مثلك ومثلي، التي تمتلك ما يكفي من التكامل والتمايز بحيث تحقّق المستوى المألوف من الإدراك الواعي، إلى إمكانية وجود أنظمة أخرى من الممكن أن تتفوّق قدراتها المعلوماتية -وخبرتها الواعية- على قدراتنا وخبراتنا.

كما رأينا في حالة نهج تشالمرز، فإن نظرية تونوني تتّسم بقدر من الروحية الشاملة. فلا شيء في هذا المُقترَح مرتبط جوهريًّا ببنية مادية معيّنة. فخبرة الإدراك الواعي

التي تمر بها تكمن داخل دماغ بيولوجي، ولكن وفقًا لتونوني وحساباته فإذا كانت قيمةΦ عالية بما فيه الكفاية، سواء أكانت موجودة في المشابك العصبية أو النجوم النيوترونية، سيعني هذا وجود الإدراك الواعي. في نظر البعض، مثل عالِم الكمبيوتر سكوت آرنسون، إن هذا يترك المُقترَح مفتوحًا أمام ما يعتبره هجومًا مدمّرًا. وقد أظهرت حسابات آرنسون أنه من خلال الربط الذكي بين البوابات المنطقية البسيطة (أبسط مفاتيح التبديل الإلكترونية)، فمن الممكن أن تحتوي الشبكة الناتجة على قيم Φ كبيرة بقدر ما تريد، بحيث تتساوى مع قيم الدماغ البشري، أو تكون حتى أكبر[27]. وفق هذه النظرية، يجب أن تكون شبكة المفاتيح واعية. وهذا استنتاج يعتبره آرنسون أمرًا سخيفًا، ويشاركه الرأي حدس غالبية الناس كذلك. بِمَ رد تونوني؟ مهما كانت النتيجة غريبة وغير مألوفة، فإن هذه الشبكة ستكون واعية بالفعل.

قد تعتقد أنه لا يصدق ذلك حقًا. ولكن ضع شكك في السياق الصحيح. كيف يمكن لكتلة دماغية وزنها ثلاثة أرطال، عند توصيلها على النحو المناسب بإمداد من الدم وشبكة الأعصاب، أن تمتلك الخبرة الواعية المألوفة؟ بناءً على كل ما كشف عنه العلم حتى الآن، فإن *ذلك* هو الزعم الذي يستعصي على التصديق. ومع ذلك فإنك تقبل هذا الزعم على الفور، بسبب عالمك الداخلي. وإذا عرضت عليك شيئًا آخر بعد ذلك، شيئًا يفتقر إلى الجسم والدماغ، واقترحت أنه واعٍ أيضًا، ربما تكون صعوبة تصديق هذا الزعم الجديد كبيرة، لكنّها في الواقع معقولة نسبيًا. فقد قطعتَ خطوة كبيرة بالفعل من خلال تبني الاقتراح شبه السخيف الذي يقضي بأن ثمة كتلة رمادية متغضّنة من الخلايا العصبية تمتلك وعيًا. ليست هذه حجة مؤيدة لمُقترَح تونوني، لكنها توضح أن الألفة من الممكن أن تشوّه إحساسنا بالسخف.

إذا ثبتت صحة هذا النهج، فإنه سيوضح الصفات التي يجب على النظام أن يمتلكها كي ينتج خبرة واعية. سيكون ذلك تقدّمًا كبيرًا. ومع ذلك فإن نظرية المعلومات المتكاملة، في شكلها الحالي، تتركنا نتساءل لماذا يبدو الوعي على هذه الصورة. وكيف تنتج المعلومات الشديدة التمايز والتكامل وعيًا داخليًا؟ يرى تونوني أن هذا الأمر يحدث وحسب. أو، بصورة أدق، يقترح أن هذا السؤال قد يكون السؤال الخاطئ. وهو يرى أن مسؤوليتنا لا تتمثّل في تفسير كيفية ظهور الخبرة الواعية من الجُسَيْمات المتلاطمة، وإنما تحديد الشروط المطلوبة كي يمتلك النظام خبرات كهذه. وهذا ما تسعى نظرية المعلومات المتكاملة إلى تحقيقه. وبينما أقدر هذا المنظور فإن حدسي، الذي شكّلته النجاحات المذهلة للتفسيرات الاختزالية، سيظل غير راضٍ إلى أن نربط العمليات الفيزيائية التي تتضمّن المكونات الجُسَيْمية المألوفة بإحساس العقل.

ثمة مُقترَح أخير سنتناوله الآن، وهو يتبع استراتيجية مختلفة. وهو عبارة عن سرد فيزيائي قلبًا وقالبًا، ويقدم واحدًا من أكثر النُّهُج تنويرًا نحو تناول لغز الوعي.

العقل ونمذجة العقل

تبدأ نظرية عالِم الأعصاب مايكل جرازيانو عن الوعي بصفتين معروفتين لعمل الدماغ يمكننا جميعًا تقبلهما[29]. ومن أجل تقديرهما، لنعد إلى مثال السيارة الفيراري. تخيل أنك ترى البدن الخارجي الأحمر الأنيق للسيارة، وتشعر بالشكل الانسيابي المريح لمقابض الأبواب، وتشمّ رائحة السيارة الجديدة المميزة، وما إلى ذلك. حدسيًّا، نحن نفكّر في هذه الخبرات على أنها خبرات مباشرة لواقع خارجي، لكنها ليست كذلك، وهو ما عرفناه لقرون. يوضح العلم الحديث هذا الأمر. فالضوء الأحمر المنعكس على سطح فيراري هو مجال كهربي يتذبذب نحو أربعمائة تريليون مرة كل ثانية بزوايا قائمة على مجال مغناطيسي متذبذب مشابه، وكلاهما يتحرّكان تجاهك بسرعة ثلاثمائة مليون متر في الثانية. هذه هي فيزياء الضوء الأحمر، وهذا هو المثير الذي تواجهه عيناك[30]. لاحظ أنه لا وجود لكلمة «أحمر» في وصف الفيزياء. بل يحدث اللون الأحمر عندما يدخل المجال الكهرومغناطيسي عينيك، ويدغدغ الجزيئات الحساسة للضوء في شبكية العين، ويولِّد نبضة كهربية تُنقَل إلى القشرة البصرية في الدماغ، والتي تتخصّص في معالجة المعلومات البصرية وتفسر الإشارة. فاللون الأحمر ما هو إلّا بناء بشري يحدث عميقًا داخل رأسك. ماذا عن رائحة السيارة الجديدة تلك؟ القصة مشابهة. فالمقاعد والبساط والتغليف البلاستيكي تطلق كلها جزيئات غاز تنتشر داخل السيارة. ولن يكون هناك وجود لرائحة السيارة الجديدة حتى تندفع تلك الجزيئات إلى فتحتيّ أنفك، وتحتكّ بالخلايا العصبية المستقبِلة في الظهارة الشميّة olfactory epithelium، وتولد نبضة كهربية تنطلق على طول العصب الشمّي تجاه البصلة الشمّية olfactory bulb الخاصة بك، والتي تنقل الإشارة المعالَجة إلى البنى العصبية المختلفة من أجل التفسير. وكما هو الحال مع اللون الأحمر، فإن المكان الوحيد الذي تحدث فيه رائحة السيارة الجديدة هو داخل عقلك.

وهكذا، عندما تلفت السيارة الفيراري انتباهك، تشرع مجموعة من عجلات معالجة البيانات المعرفية في الحركة. حمراء، عطرة، لامعة، معدنية، زجاج، عجلات، محرك، قوة، حركة، سرعة، وغير ذلك، هذه مجموعة من الصفات المادية والقدرات الوظيفية تُستحضَر من قبل عقلك وتُربَط معًا لتشكيل نسخة السيارة التي تحملها في عقلك. حتى الآن، يبدو هذا مشابهًا لنظرية المعلومات المتكاملة، غير أن مُقترَح جرازيانو يأخذ

هذه الإدراكات في اتجاه مختلف. وتتمثل أطروحته المحورية في أنه بصرف النظر عن مدى انتباهك الحريص إلى التفاصيل، فإن تمثيلاتك العقلية تكون دائمًا مُبَسَّطَة إلى حدٍّ كبير. وحتى وصف السيارة بأنها «حمراء» هو اختصار للعديد من الترددات المتشابهة ولكن المتمايزة للضوء -العديد من درجات اللون الأحمر- التي تنعكس من أجزاء مختلفة من سطح السيارة: فالموجات الكهرومغناطيسية، مثلًا، تهتز بمعدل 435172874363122 دورة في الثانية عند بقعة موجودة على باب السائق الجانبي وبمعدل 447892629261106 دورة في الثانية عند بقعة موجودة على غطاء المحرك، وهكذا[31]. سوف يترنح عقلك إذا تعامل مع مثل هذه الوفرة في التفاصيل. بدلًا من ذلك فإن اللون «الأحمر» هو تبسيط محبَّب، وإن كان تخطيطيًا، من جانب العقل. ينطبق الأمر كذلك على مجموعة التبسيطات الواسعة المشابهة التي يصنعها العقل باستمرار. فبالنسبة لكل شيء تقريبًا تقابله في البيئة لا يكون التمثيل التخطيطي كافيًا وحسب، بل إنه يحرّر الموارد العقلية أيضًا من أجل استخدامها في الأغراض الأخرى الداعمة للحياة. ومنذ زمن بعيد، تعرّضت الأدمغة المشتتة بسبب التفاصيل المتلاطمة للعالم المادي إلى الافتراس بسرعة. أما الأدمغة التي نجت فهي تلك التي تتجنّب الانغماس في التفاصيل التي لا تسهم في البقاء. وإذا استعضت عن الفيراري الحمراء بانهيار جليدي أو زلزال شديد، ستتمكن من رؤية مزية البقاء التي يقدّمها وجود تمثيل عقلي سريع وغير مصقول يسهّل إصدار استجابة سريعة.

عندما لا يكون انتباهك موجّهًا نحو السيارات أو الانهيارات الجليدية أو الزلازل، وإنما يركّز بدلًا من ذلك على الحيوانات أو البشر، فإنك تُنشئ أيضًا تمثيلات عقلية تخطيطية. ولكن بالإضافة إلى إنشاء التمثيلات الخاصة بأشكالهم الجسدية، فإنك تقوم أيضًا بإنشاء تمثيلات عقلية تخطيطية لعقولهم. فأنت تحاول تقييم ما يجري داخل رؤوسهم -سواء أكنا نتحدث عن حيوان أو إنسان، صديق أو عدو، يمنحك الأمان أو يعرِّضك للخطر، أو يسعى وراء فرص متبادلة أو مكسب أناني-. من الواضح أن هناك قيمة بقاء كبيرة لتحديد طبيعة لقاءاتنا مع أشكال الحياة الأخرى بسرعة. ويسمي الباحثون هذه القدرة، التي تم تنقيحها عبر الأجيال عن طريق الانتخاب الطبيعي، باسم *نظرية للعقل*[32] (فنحن نفترض، حدسيًا، أن الكائنات الحية تمتلك عقولًا تعمل مثل عقولنا بشكل أو بآخر)، أو *الموقف القصدي*[33] (فنحن نعزو المعرفة والمعتقدات والرغبات، وبالتبعية النيات، إلى الحيوانات والبشر الذين نقابلهم).

يؤكد جرازيانو على أنك تقوم بصورة روتينية بتطبيق هذه القدرة على نفسك: فأنت تُنشئ باستمرار تمثيلًا عقليًا تخطيطيًا لحالتك العقلية. وإذا كنت تنظر إلى السيارة

الفيراري الحمراء، فأنت لا تقوم فقط بإنشاء تمثيل تخطيطي للسيارة، بل إنك تُنشئ أيضًا تمثيلًا تخطيطيًا لانتباهك المُركّز على السيارة الفيراري. وجميع السمات التي تربطها معًا لتمثيل السيارة الفيراري تتعزّز بواسطة الخاصيّة الإضافية المتمثلة في تلخيص تركيزك العقلي الخاص: السيارة الفيراري حمراء وانسيابية ولامعة، وينصبّ اهتمامك على كون السيارة الفيراري حمراء وانسيابية ولامعة. هذه هي الطريقة التي تَتَبع بها اتصالك بالعالم.

كما هو الحال مع تمثيل السيارة الفيراري، وكما هو الحال مع تمثيلك لانتباه الآخرين، فإن تمثيل انتباهك الخاص يتغاضى عن مساحات شاسعة من التفاصيل. فهو يتجاهل الانطلاق الكامن للخلايا العصبية، ومعالجة المعلومات، وتبادل الإشارات المعقدة التي تولّد تركيزك، وبدلًا من ذلك فإنه يرسم صورة تخطيطية للانتباه نفسه، ما نسميه باللغة الدارجة عادة «وعينا». ووفقا لجرازيانو فإن هذا هو السبب الذي يجعل الخبرة الواعية تهيم دون قيود داخل العقل. فعندما يتم تطبيق ولع الدماغ بالتمثيلات التخطيطية المُبسطة على نفسه، على انتباهه الخاص، يتجاهل الوصف الناتج عن العمليات الفيزيائية المسؤولة عن هذا الانتباه. ولهذا السبب تبدو الأفكار والأحاسيس أثيرية، كما لو أنها تأتي من العدم، كما لو كانت تحوم داخل رؤوسنا. وإذا تغاضى التمثيل التخطيطي لجسمك عن ذراعيك، فإن حركة يديك ستبدو أثيرية أيضًا. ولهذا السبب تبدو الخبرة الواعية مختلفة تمامًا عن العمليات الفيزيائية التي تنفّذها المكوِّنات الخلوية والجُسَيْمية لأجسادنا. فالسبب الوحيد وراء صعوبة المشكلة الصعبة -أن الوعي يسمو في ما يبدو فوق الجانب المادي- هو أن نماذجنا العقلية التخطيطية تمنع إدراك الآليات الدماغية عينها التي تربط أفكارنا وأحاسيسنا بأسسها الفيزيائية.

إن مكمن جاذبية أي نظرية فيزيائية مثل نظرية جرازيانو (والنظريات الأخرى التي تم اقتراحها وتطويرها[34]) هو أن الوعي، مثل الحياة، سيُختَزَل إلى ترتيبات موصلة من المكونات العديمة الحياة، والتفكير، والشعور. لا ريب في أن ثمة وجودًا لمشهد عصبي فسيح يمتد بيننا وبين هذه الأرض الموعودة للفهم الاختزالي. ولكن خلافًا للأرض المجهولة التي تصوَّرها تشالمرز، التي سيحتاج الباحثون فيها إلى اجتياز أراضٍ غريبة، وشق طريقهم بين أدغال غير مألوفة، فمن المرجح أن تقدّم الرحلة الفيزيائية مفاجآت أقل غرابة. ولن يتمثّل التحدي في مسح عالم غريب، وإنما في رسم خريطة لعالمنا -الدماغ- بتفاصيل غير مسبوقة. وهذه الألفة بالتضاريس ستجعل الرحلة الناجحة مدهشة للغاية. وسيبزغ الوعي ببساطة، من دون أن يتطلّب أي شرارة فوق علمية، أو يستحضر أي خصائص جديدة للمادة. فالمادة العادية، التي تحكمها القوانين العادية، وتنفّذ عمليات عادية، ستمتلك القدرة الاستثنائية على التفكير والشعور.

قابلتُ أشخاصًا عديدين يقاومون هذا المنظور. ويشعر هؤلاء بأن أي محاولة لدمج الوعي ضمن الوصف الفيزيائي للعالم تعدّ تقليلًا من شأن أغلى صفاتنا. ويقترحون أن البرنامج الفيزيائي ما هو إلّا نهج أخرق يتبعه علماء أعمتهم المادية وغير مدركين للعجائب الحقيقية للخبرة الواعية. بطبيعة الحال لا يعلم أحد كيف سيتكشف الأمر. ربما بعد مائة عام أو ألف من الآن سيبدو البرنامج الفيزيائي ساذجًا. أشك في هذا. ولكن عند الإقرار بهذه الاحتمالية، من المهم أيضًا مواجهة الافتراض القائل بأن تحديد أساسٍ فيزيائي للوعي يقلل من قيمته. إن قدرة العقل على فعل كل ما يفعله استثنائية بحق. وإن قدرة العقل على القيام بكل ما يقوم به من دون استخدام أي شيء بخلاف حفنة من أنواع المكوّنات والقوى التي تحافظ على تماسك فنجان القهوة الخاص بي تجعله أكثر استثنائية. وسيُزال الغموض المحيط بالوعي دون أن يحط ذلك من قدره.

الوعي وفيزياء الكم

على مر عقود تكرر ظهور مُقترح مفاده أن فيزياء الكم ضرورية من أجل فهم الوعي. وهذا صحيح من جانب ما. فالبنى المادية، بما في ذلك الدماغ، مؤلّفة من جُسَيْمات تحكم قوانين ميكانيكا الكم سلوكها. ومن ثم تدعم ميكانيكا الكم الأساس المادي لكل شيء، بما في ذلك العقل. ولكن عند الجمع بين الوعي والكم، من الشائع أن يقترح المعلّقون وجود صلات أعمق. كثير من هذه الصلات مدفوع بفجوة في فهمنا لميكانيكا الكم ظلت منيعة أمام قرن من التفكير من جانب أشد العقول العلمية والفلسفية براعة في العالم. دعني أوضح.

ميكانيكا الكم هي أدق إطار نظري طُوِّر على الإطلاق من أجل وصف العمليات الفيزيائية. فلم تصدر ميكانيكا الكم تنبوءًا واحدًا أثبتت التجارب القابلة للتكرار خطأه، وتتفق بعض حسابات ميكانيكا الكم الأكثر تفصيلًا مع البيانات التجريبية بهامش خطأ لا يتجاوز جزءًا واحدًا في المليار. إذا لم تكن من محبي الأرقام الكمية، فلا بأس من التغاضي عنها في معظم الأحيان. لكن ليس الآن. خذ الرقم الذي اقتبسته للتو: *تتفق حسابات ميكانيكا الكم، المبنية على معادلة شرودنجر، مع القياسات التجريبية بأكثر من تسعة منازل بعد الفاصلة العشرية*[35]. ينبغي أن تدوي الأبواق وتنحني الأنواع احترامًا لأن هذا يمثل انتصارًا للفهم البشري.

ومع ذلك، ثمة لغز يقبع في قلب نظرية الكم.

تتمثل السمة الجديدة الأساسية لميكانيكا الكم في أن تنبوءاتها احتمالية. فقد تؤكد النظرية أن هناك احتمالًا بنسبة 20 في المائة للعثور على إلكترون هنا، واحتمالًا بنسبة

35 في المائة للعثور عليه هناك، واحتمالًا بنسبة 45 في المائة للعثور عليه في موقع ثالث. وإذا قمت بعد ذلك بقياس موقع الإلكترون في عدد كبير من النُّسَخ المتطابقة من حيث التجهيز لنفس التجربة، فستجد بدقة مذهلة أنه في 20 بالمائة من قياساتك يوجد الإلكترون هنا، وفي 35 بالمائة منها يوجد هناك، وفي 45 بالمائة من الوقت يوجد في ذلك الموقع الثالث. ولهذا السبب لدينا ثقة في نظرية الكم.

قد لا يبدو اعتماد نظرية الكم على الاحتمالات غريبًا بشكل خاص. فعلى أي حال، عندما نقذف عملة معدنية فإننا نستخدم أيضًا الاحتمالات لوصف النتيجة المحتملة؛ فنقول إن هناك احتمالًا بنسبة 50 في المائة أن تستقر العملة على وجه الصورة واحتمالًا بنسبة 50 في المائة أن تستقر على وجه الكتابة. ولكن إليك الاختلاف، ذلك الاختلاف المألوف لدى الكثيرين لكنه لا يزال صادمًا للغاية: في الوصف الكلاسيكي التقليدي، بعد أن تقذف العملة ولكن قبل أن تنظر، تكون العملة مستقرة إما على وجه الصورة أو الكتابة، كل ما في الأمر أنك لا تعرف وحسب على أي الوجهين تستقر العملة المعدنية. على النقيض من ذلك، في الوصف الكمي، قبل التحقّق من موقع جُسَيْم كالإلكترون، يُقَدَّر احتمال وجوده في هذا الموقع بـ50 في المائة ووجوده في ذاك بـ50 في المائة، فإن الجُسَيْم لا يكون موجودًا هنا أو هناك من الأساس. بدلًا من ذلك، تقول ميكانيكا الكم إن الجُسَيْم يتأرجح على نحو غامض بين الوجود هنا وهناك. وإذا أعطت الاحتمالات الإلكترون احتمالية غير صفرية للوجود في مجموعة متنوعة من المواقع المختلفة، فعندئذٍ وفقًا لميكانيكا الكم، يتأرجح الإلكترون على نحو غامض فيتواجد في جميع هذه المواقع في الوقت نفسه. هذا أمر عجيب للغاية، ومجافٍ لخبراتنا، إلى درجة قد تدفعك إلى رفض النظرية. وإذا لم تكن لميكانيكا الكم قدرة لا مثيل لها على تفسير البيانات التجريبية، لكان رد الفعل هذا واسع الانتشار ومبررًا. ومع ذلك فإن البيانات تجبرنا على التعامل مع ميكانيكا الكم بأقصى قدر من الاحترام، ولذا عملنا نحن العلماء بلا كلل على فهم هذه السمة المجافية للبديهة[36].

المشكلة هي أنه كلما عملنا أكثر، صارت الأشياء غريبة بدرجة أكبر. فلا شيء في المعادلات الكمية يوضح كيف ينتقل الواقع من خليط الاحتمالات المتعدّدة الغامض إلى النتيجة المحدّدة الفردية التي تشاهدها عند إجراء القياس. وفي الواقع، إذا افترضنا أن المعادلات الكمّية الناجحة نفسها لا تنطبق فقط على الإلكترونات (والجُسَيْمات الأخرى) التي ربما تدرسها ولكن تنطبق أيضًا على الإلكترونات (والجُسَيْمات الأخرى) التي تشكّل معداتك، وتلك التي تشكّل جسدك، وتلك التي تشكل عقلك -وهو افتراض يبدو معقولًا تمامًا- حينئذٍ وفق الحسابات الرياضية ليس من المفترض أن

يحدث الانتقال على الإطلاق. فإذا كان الإلكترون يتأرجح بين هذا الموقع وذاك، فمن المفترض أن تعثر عليه أجهزتك في هذا الموقع وذاك، وعند قراءة شاشات أجهزتك، من المفترض أن يعتقد عقلك أن الإلكترون موجود في هذا الموقع وذاك. يعني هذا أنه بعد إجراء القياس، من المفترض بالتشوش الكمّي للجُسَيْمات التي تدرسها أن يصيب معدّاتك، ودماغك، وإدراكك الواعي في ما يبدو، مما يؤدي إلى تأرجح أفكارك داخل خليط غامض من النتائج المتعددة. ومع ذلك، بعد كل عملية قياس، لا يحدث أي شيء من هذا القبيل. فأنت تذكر أنك شاهدت نتيجة واحدة ومحدَّدة. ويكمن التحدي، المعروف باسم مشكلة *القياس الكَمّي*، في حل التفاوت المحيِّر بين الواقع الكمي الغائم الذي تصفه المعادلات والواقع المألوف المحدّد القاطع الذي نَخبُره باستمرار[37].

منذ ثلاثينيات القرن العشرين اقترح الفيزيائيان فريتز لندن وإدموند باور[38]، ثم بعد عقود قليلة الفيزيائي الحائز على جائزة نوبل يوجين فيجنر[39]، أن الوعي قد يكون المفتاح. فعلى أي حال، لا يصير اللغز لغزًا إلّا عندما تتحدّث عن خبرتك الواعية بالواقع المحدد، وهو ما يؤدي إلى عدم تطابق بين ما تقوله وما تتنبأ به الحسابات الرياضية لميكانيكا الكم. تخيل إذًا أن قواعد ميكانيكا الكم تنطبق على طول السلسلة، من الإلكترون الذي يجري قياسه، إلى الجُسَيْمات الموجودة في أجهزة القياس، إلى الجُسَيْمات التي تشكّل القراءة المعروضة على شاشات الأجهزة. ولكن عندما تنظر إلى القراءة وتتدفّق البيانات الحسية إلى دماغك يتغير شيء ما: إذ تتوقّف قوانين الكَمّ القياسية عن الانطباق. وبدلًا من ذلك فعندما يدخل الإدراك الواعي إلى المعادلة، تسيطر عملية أخرى؛ عملية تضمن إدراكك لنتيجة واحدة محددة فقط. وبهذا يكون الوعي مشاركًا حميمًا في فيزياء الكم، ويقضي بأنه بينما يتطور العالم فإن كل صور المستقبل المحتملة يتم التخلص منها باستثناء نُسخة واحدة فقط، سواء من الواقع نفسه، أو على الأقل من إدراكنا المعرفي له.

يمكنك أن ترى لماذا يُعد هذا المقترح جذابًا. فميكانيكا الكم غامضة. والوعي غامض. وكم من الممتع أن نتخيل أن يكون غموض كل منهما مرتبطًا بالآخر، أو أنه هو الغموض ذاته، أو أن غموض أحدهما يحل غموض الآخر. لكن خلال العقود التي قضيتها منغمسًا في دراسة فيزياء الكم لم أقابل حجة رياضية أو بيانات تجريبية غيرت تقييمي الذي توصّلت إليه من فترة طويلة للرابطة المزعومة بين الأمرين؛ وهو أنها مستبعدة بدرجة كبيرة. إن خبراتنا ومشاهداتنا تدعم الرأي القائل بأنه عند التدخل في أي نظام كمي -سواء أكان مصدر التدخل كائنًا واعيًا أو مسبارًا بلا عقل- فإن النظام يخرج من الضباب الكمي الاحتمالي ويكتسب حقيقة محددة. فالتفاعلات -وليس

الوعي– هي التي تستحثّ ظهور الواقع المحدّد. بطبيعة الحال من أجل التحقّق من هذا الأمر، أو أي شيء آخر من الأساس، أحتاج إلى تسخير وعيي؛ إذ سأعجز عن إدراك أي نتيجة من دون مشاركة عقلي الواعي في العملية. لذلك لا توجد حجة دامغة تقضي بأن الوعي لا يلعب دورًا كميًا خاصًا. ومع ذلك، حتى في أدق المقاربات، التي مضت إلى ما وراء المطابقة السطحية بين أمرين غامضين متمايزَيْن ظاهريًا، فإن الصلات المُقترحَة بين عالم الكم والوعي هشّة.

ومع تعمق فهمنا لميكانيكا الكم، سوف يتعمّق كذلك إحصاؤنا للعمليات الفيزيائية المتناهية الصغر الكامنة وراء وظائف كل شيء، بما في ذلك الجسم والدماغ. من المنظور الفيزيائي الخالص، يُعد الوعي واحدًا من هذه الوظائف، ومن ثم سيجري تضمينه يومًا ما في الحساب الكمّي. ومع ذلك، فإذا لم تقع مفاجأة مذهلة، لن تتضمّن كتب ميكانيكا الكم في المستقبل القريب أو البعيد أي توجيهات خاصّة حول كيفية استخدام المعادلات في وجود الوعي. فعلى الرغم مما يتسم به الوعي من روعة، سيظل يُفهَم على أنه خاصية فيزيائية أخرى تنشأ في كون كمّي.

الإرادة الحرة

قليلون منا الذين يفخرون بالكيفية التي ينتج بها البنكرياس إنزيم الكيموتربسين، أو بتسهيل شبكة العصب الثلاثي التوائم للعطس. فنحن لا نهتم كثيرًا بالعمليات المستقلة التي تجري داخلنا. وإذا سُئلت من أنا، فإنني سأتحوّل إلى الأفكار والأحاسيس والذكريات التي يمكنني الوصول إليها بعين عقلي أو استنطاقها بصوتي الداخلي. يقوم البنكرياس لدى الجميع بتخليق إنزيم الكيموتربسين، ويعطس الجميع، غير أنني أحب أن أتخيّل أن هناك شيئًا ذاتيًا عميقًا وكاملًا وجوهريًا في ما أفكر به، وما أشعر به، وما أفعله. ويرتبط بهذا الحدس مُعتقدٌ شائعٌ جدًّا إلى درجة أن كثيرين منا لا يعاودون التفكير فيه مطلقًا، ناهيك عن التفكير فيه من الأساس، وهو: أن لدينا إرادة حرة. فنحن مستقلون، ونتخذ قراراتنا بأنفسنا. ونحن المصدر المُطلَق لأفعالنا. لكن هل نحن كذلك حقًّا؟

ألهم هذا السؤال تأليف صفحات من الأدبيات الفلسفية أكثر من مجرد أي لغز آخر. فقبل ألفيْ عام، شكلت رؤية ديموقريطوس المبسّطة للعالم، والتي تقضي بأنه يتألف من الذرات والفراغ، إشارة واضحة إلى وحدة الطبيعة، ونبذت نزوات الآلهة المتقلبة لصالح القوانين الثابتة. ولكن سواء أكانت حوادث الحياة محكومة بالكامل بالقوة الإلهية أو بالقانون المادي، يظل علينا أن نسأل عن مكان وجود مساحة الأفعال النابعة

من الإرادة الحرة، هذا إن كان لمثل هذه المساحة وجودٌ من الأساس[40]. وبعد قرن من الزمان، تحسّر أبيقور، الذي رفض التدخل الإلهي، على حقيقة أن الحتمية العلمية كانت تخنق الإرادة الحرة. فإذا سلَّمنا بأن الألهة تحتفظ بالسلطة، على الأقل يوجد احتمال وارد بأن يُكافأ تقديسنا الراسخ بالحصول على قدر من الحرية. غير أن القانون الطبيعي، المحصَّن ضد كل إطراء، يعجز عن تخفيف القيود. ولحل هذه المعضلة، تخيل أبيقور أنه بين الحين والآخر تقوم الذرات بانحرافات عشوائية من تلقاء ذاتها، وتتحدى مصيرها الذي يمليه القانون، وتسمح بمستقبل لم يحدّده الماضي. وعلى الرغم من أنها خطوة مبتكرة بالتأكيد، لم يقتنع أحد بإدراج الصدفة العشوائية في قوانين الطبيعة باعتبارها مصدرًا مُقنعًا لحرية البشر. وهكذا ظلّت مشكلة الإرادة الحرة، على مدار القرون التالية، تؤرق مضاجع مجموعة من المفكرين المبجَّلين -مثل القديس أوغسطين وتوما الأكويني وتوماس هوبز وجوتفريد لايبنتس وديفيد هيوم وإيمانويل كانط وجون لوك- وقائمة طويلة يصعب حصرها من فرط طولها، بما في ذلك أشخاص عديدون يتدبرون مثل هذه القضايا حاليًا في أقسام الفلسفة حول العالم.

إليك بنسخة حديثة من الحجَّة تعيد إحياء مفهوم الإرادة الحرّة مجددًا. يبدو أن خبراتك وخبراتي تؤكد أننا نؤثر على تكشُّف حوادث الواقع من خلال أفعال تعكس أفكارنا ورغباتنا وقراراتنا النابعة من إرادتنا الحرة. ومع ذلك، وبالاستناد إلى المنظور الفيزيائي الصرف، فما أنا وأنت سوى مجموعات من الجُسَيْمات[41] المحكوم سلوكها بالكامل بقوانين الفيزياء. فاختياراتنا هي نتاج حركة جُسَيْماتنا بطريقة أو بأخرى عبر أدمغتنا. وأفعالنا هي نتاج حركة جُسَيْماتنا بطريقة أو بأخرى داخل أجسامنا. وكل حركات الجُسَيْمات -سواء في الدماغ أو الجسم أو كرة البيسبول- محكومة بالفيزياء، ومن ثَم تُمليها بالكامل الحسابات الرياضية. فالمعادلات تحدّد حالة جُسَيْماتنا اليوم استنادًا إلى حالتها بالأمس، وليس من الممكن لأي منّا تجاهل الرياضيات وتشكيل الكيفية التي تسير بها الحوادث أو صياغتها أو تغييرها بحرية. وفي الواقع، إذا تتبعنا هذه السلسلة إلى الوراء أكثر، فسنجد أن الانفجار العظيم هو المصدر النهائي لجميع الجُسَيْمات، وأن سلوكها على مر التاريخ الكوني قد تحدَّد بواسطة قوانين الفيزياء الجامدة وغير القابلة للتفاوض، والتي تحدد بنية ووظيفة كل شيء موجود. يعتمد إحساسنا بالفردية والقيمة والتقدير على استقلاليتنا. ولكن في مواجهة صلابة القانون الفيزيائي، تتراجع هذه الاستقلالية. وما نحن سوى أُلعوبة تحركها جيئة وذهابًا القواعد الجامدة للكون.

السؤال المحوري، إذًا، هو ما إذا كانت هناك أي طريقة لتجنب هذا الفناء الظاهري للإرادة الحرة لصالح حركة الجُسَيْمات الذليلة. حاول العديدون من المفكرين العثور

على جواب. ونبذ بعضهم النهج الاختزالي. وعلى الرغم من أن ثمة بيانات ضخمة تؤكد أن لدينا فهمًا عميقًا للقوانين التي تحكم الجُسَيْمات الفردية (الإلكترونات والكواركات والنيوترينوات وما إلى ذلك)، فربما عندما يجتمع مائة مليار مليار مليار جُسَيْم على هيئة جسم الإنسان ودماغه، فإنها لا تصير محكومة -أو على الأقل لا تصير محكومة بالكامل- بالقوانين الجوهرية للعالم المتناهي الصغر. وربما، بحسب تصور هذا الخط من التفكير، يسمح هذا بوجود ظواهر على النطاقات العيانية -أبرزها الإرادة الحرة- من شأن قوانين العالم المتناهي الصغر أن تمنعها.

من المسلَّم به أنه لم يقم أي شخص بإجراء التحليل الرياضي المطلوب من أجل إصدار تنبوءات بشأن النمو المحكوم بقوانين الفيزياء للجُسَيْمات التي تؤلف جسد أي شخص. سيكون التعقيد الرياضي بعيدًا بصورة هائلة عن متناول أقوى قدراتنا الحاسوبية. وحتى التنبؤ بحركة جسم أبسط بكثير ككرة بلياردو من الممكن أن يتعذّر علينا لأن الأخطاء الطفيفة في تحديد السرعة والاتجاه الابتدائيين للكرة من الممكن أن تتعاظم بصورة أسّيَّة مع ارتداد الكرة عن جوانب الطاولة. لذا لا ينصبّ تركيزي هنا على التنبؤ بخطوتك القادمة، وإنما ينصبّ تركيزي على وجود القوانين التي تحكم خطوتك القادمة. وعلى الرغم من أن الحسابات تتجاوز قدراتنا الحالية، فلم يكن هناك قط أدنى مؤشّر رياضي أو تجريبي أو رصدي على أن هذه القوانين تمارس أي شيء سوى السيطرة الكاملة. من الممكن أن تبزغ ظواهر غير متوقعة ومثيرة للانبهار بالتأكيد من الحركة المنسقة للعديد من المكونات المتناهية الصغر -من الأعاصير إلى النمور- لكن جميع الأدلة تشير إلى أننا إذا تمكّنا من إجراء الحسابات الرياضية لمثل هذه المجموعات الكبيرة من الجُسَيْمات المتفاعلة، فسنكون قادرين على التنبؤ بسلوكياتها الجمعية. وهكذا، في حين أنه من المتصور منطقيًّا أن ندرك ذات يوم أن مجموعات الجُسَيْمات التي تؤلف الأجسام والعقول مُعفاة من القواعد التي تحكم مجموعات الجُسَيْمات غير الحية، فإن هذا الاحتمال يتعارض مع كل ما كشف عنه العلم إلى الآن حول عمل العالم.

وضع باحثون آخرون رهاناتهم على ميكانيكا الكم. فعلى أي حال، تتّصف الفيزياء الكلاسيكية بكونها حتمية: فإذا زودت الحسابات الرياضية للفيزياء الكلاسيكية -معادلات نيوتن- بالمواقع والسرعات الدقيقة لجميع الجُسَيْمات في أي لحظة بعينها، فستخبرك المعادلات بمواقعها وسرعاتها في أي لحظة مستقبلية. في ضوء هذه الصرامة، وفي ضوء تحديد المستقبل بالكامل من قبل الماضي، كيف يمكن أن توجد أي مساحة للإرادة الحرة؟ لقد تحدّدت حالة جُسَيْماتك الآن، وأنت تقرأ هذه الكلمات وتتدبّر هذه الأفكار، بفعل ترتيبها قبل أن تولد حتى بوقت طويل، ومن ثم

لم يكن من الممكن اختيارها بالتأكيد بواسطة إرادتك. لكن في فيزياء الكم، كما رأينا، تتنبأ المعادلات فقط باحتمالية ما ستكون عليه الأشياء في أي لحظة مستقبلية. وعن طريق إدخال عنصر الاحتمالية -الصدفة- تبدو ميكانيكا الكم وكأنها تقدّم نسخة حديثة ومُحفِّزة تجريبيًا من الانحراف الأبيقوري، بحيث تخفّف قيود الحتمية. ومع ذلك فمن الممكن أن تكون اللغة الفضفاضة خادعة. إن الحسابات الرياضية لميكانيكا الكم، معادلة شرودنجر، حتمية بنفس درجة الحسابات الرياضية لفيزياء نيوتن الكلاسيكية. الاختلاف هو أنه في حين يأخذ نيوتن حالة العالم الآن كمدخلات وينتج حالة فريدة للعالم غدًا، فإن ميكانيكا الكم تأخذ حالة العالم الآن كمدخلات وتنتج جدولًا فريدًا من الاحتمالات لحالة العالم غدًا. فمعادلات ميكانيكا الكم تعرض صورًا عديدة ممكنة من المستقبل، لكنها تحدد بشكل قاطع احتمالية كل منها من الناحية الرياضية. ومثل نيوتن تمامًا، لا يترك شرودنجر أي مجال للإرادة الحرة.

ومع ذلك، تحول باحثون آخرون إلى مشكلة القياس الكمي غير المحسومة. وهذا أمر مفهوم. فأي فجوة في المعرفة العلمية تعدّ مكانًا جذّابًا لإخفاء شيء ذي قيمة عميقة، على الأقل حتى يتم سَدّ هذه الفجوة. تتعلق هذه الفجوة، كما تذكر، بعدم وجود توافق في الآراء حتى الآن حول كيفية انتقال العالم من الوصف الاحتمالي الذي تقدّمه ميكانيكا الكم إلى الواقع المحدد للخبرة المشتركة. كيف يتم اختيار مستقبل فريد واحد من قائمة الاحتمالات التي تضعها ميكانيكا الكم؟ والسؤال الآخر المهم في هذا السياق: هل من الممكن أن توجد الإرادة الحرّة ضمن الإجابة؟ للأسف لا. تدبر على سبيل المثال إلكترونًا تقضي ميكانيكا الكم باحتمالية وجوده في موضع ما بنسبة 50 في المائة، واحتمالية وجوده في موضع آخر بنسبة 50 في المائة. هل يمكنك أن تختار بحرية النتيجة -هذا الموقع أو ذاك- التي سيكشف عنها رصد موقعه؟ لا يمكنك هذا. فالبيانات تصدق على أن النتيجة عشوائية، والنتائج العشوائية ليست خيارات نابعة من الإرادة الحرة. تؤكّد البيانات أيضًا أن النتائج المتراكمة عبر العديد من هذه التجارب تتّسم بانتظام إحصائي: في هذا المثال، ستجد نصف النتائج أن الإلكترون موجود هنا وسيجد النصف الآخر أنه موجود هناك. إن الخيار النابع من الإرادة الحرة لا يكون مقيّدًا، حتى من الناحية الإحصائية، بالقواعد الرياضية. ولكن كما يوضح الدليل في هذه الحالة وجميع الحالات الأخرى أيضًا، فإن الرياضيات هي التي تحكم بالفعل. لذا على الرغم من أن الانتقال من الاحتمالات الكمية إلى اليقين التجريبي لا يزال محيرًا، فمن الواضح أن الإرادة الحرة ليست جزءًا من العملية.

إن امتلاك الحرية يتطلب منا ألّا نكون دُمى تجذب خيوطها قوانين الفيزياء. إن كون

القوانين حتمية (كما في الفيزياء الكلاسيكية) أم احتمالية (كما في فيزياء الكم) له دور مهم في الكيفية التي يتطور بها الواقع وفي أنواع التنبوءات التي يمكن أن يصدرها العلم. ولكن عند تقييم الإرادة الحرة لا يُحدِث هذا التمييز فارقًا. فإذا كانت القوانين الأساسية تنطبق على الدوام ولا تتوقف مطلقًا بسبب الافتقار إلى المدخلات البشرية وتنطبق حتى إذا كانت الجُسَيْمات موجودة داخل الأجسام والعقول، حينئذٍ لن يوجد مكان للإرادة الحرة. وفي الواقع، قبل ظهورنا نحن البشر على الساحة بزمن طويل كانت القوانين تحكم من دون توقف، وبعد وصولنا ظلت القوانين تحكم من دون توقف، وهو ما أكدته كل تجربة وملاحظة علمية أُجريت على الإطلاق.

خلاصة القول: نحن كائنات مادية تتكوّن من مجموعات كبيرة من الجُسَيْمات المحكومة بقوانين الطبيعة. وحركة هذه الجُسَيْمات مسؤولة عن كل ما نفعله وكل ما نفكر فيه. فعندما تصافح يدي ستضغط الجُسَيْمات التي تشكّل يدك على تلك التي تشكّل يدي صعودًا وهبوطًا. وعندما تقول لي مرحبًا، فإن الجُسَيْمات التي تشكل الحبال الصوتية الخاصة بك ستدفع جزيئات الهواء في حلقك، وتطلق تفاعلًا متسلسلًا من الجُسَيْمات المتصادمة التي تموج عبر الهواء، وتصطدم بالجُسَيْمات التي تشكّل طبلة أذني، مما يؤدي إلى اندفاع مجموعة أخرى من الجُسَيْمات في رأسي، وهذه هي الكيفية التي أتمكّن بها من سماع ما تقوله. تستجيب الجُسَيْمات في دماغي للمثيرات، مما ينتج الأفكار التي تسيطر عليّ بقوة، وترسل إشارات تحملها جُسَيْمات أخرى إلى الجُسَيْمات التي تشكّل ذراعي، والتي تدفع يدي إلى التحرك على مستوًى متوافق مع حركة يدك. ونظرًا إلى أن كل المشاهدات والتجارب والنظريات الصحيحة تؤكّد أن حركة الجُسَيْمات يتم التحكّم فيها بالكامل بواسطة القواعد الرياضية، فلا يمكننا التوسط في هذا التقدّم المطيع للقواعد الرياضية للجُسَيْمات بأكثر مما يمكننا تغيير قيمة ثابت الدائرة (ط).

إن خياراتنا تبدو حرة لأننا لا نشهد قوانين الطبيعة وهي تعمل في هيئتها الأكثر جوهرية، فحواسنا لا تكشف عن عمل قوانين الطبيعة في عالم الجُسَيْمات. بل تركّز حواسنا، وتفكيرنا، على النطاقات والأفعال البشرية اليومية: فنحن نفكر في المستقبل، ونقارن مسارات العمل، ونزن الاحتمالات. ونتيجة لذلك فعندما تعمل جُسَيْماتنا، يبدو لنا أن سلوكياتها الجمعية تنبثق من خياراتنا المستقلة. ولكن إذا كنا نتمتّع بالرؤية الخارقة التي تحدّثنا عنها في موضع سابق وتمكّنا من تحليل الواقع اليومي على مستوى مكوناته الجوهرية، فسندرك أن أفكارنا وسلوكياتنا ما هي إلّا عمليات معقدة تقوم بها جُسَيْمات متغيرة تنتج إحساسًا قويًّا بالإرادة الحرة لكنها محكومة بالكامل بقوانين الفيزياء.

ومع ذلك فإن اختتام مناقشتنا عند هذا الحد سيعني التغافل عن نسخة مختلفة من فكرة الحرية لا تتّفق وحسب مع فهمنا للقانون الفيزيائي ولكن تجسّد أيضًا سمةً جوهرية للغاية بحيث يمكن اعتبارها خاصية مميّزة لما يعنيه أن نكون بشرًا.

الصخور والبشر والحرية

تخيل أنك جالس على مقعد في حديقة وإلى جوارك صخرة. وبينما أمشي أمامك ترى فجأة أن ثمة فرع شجرة ثقيل قد انكسر وأنه يهوي نحوي. تقفز من المقعد وتدفعني بقوة، بحيث يبتعد كلانا عن طريق الأذى. ما هو تفسير فعلك البطولي الذي أنقذ حياتي؟ جميع الجُسَيْمات التي تشكلك وجميع الجُسَيْمات التي تشكل الصخرة تخضع لنفس القوانين، ومن ثم فلا أنت ولا الصخرة تمتلكان إرادة حرة. ومع ذلك فقد كنت أنت من اندفع من المقعد نحوي وليس الصخرة. فما تفسير ذلك؟

لقد أنقذتني أنت، ولم تنقذني الصخرة، لأن جُسَيْماتك مرتّبة على نحو مذهل، ومهيأة على نحو خلاب، بحيث تستطيع القيام بحركات مُصمَّمة بدقة تعجز الجُسَيْمات التي تشكل الصخرة عن القيام بها[42]. فبينما أسير أمامك، يمكنك التلويح أو قول مرحبًا، أو أن تخبرني أنك قمت بحل معادلات نظرية الأوتار، أو تقوم بتمرين الوثب الجانبي، أو تنقذني من فرع ساقط، أو القيام بأي عمل آخر من مليارات الاحتمالات الممكنة. إن الفوتونات التي ترتد عن وجهي وتدخل عينيك، وموجات الصوت التي تهتز من الفرع المتصدع تدخل أذنيك، والتأثيرات الحسّية الآتية من نسمة قوية تهب على بشرتك، بالإضافة إلى مجموعة واسعة من المثيرات الخارجية والداخلية الأخرى، كلها أطلقت شلالات من الجُسَيْمات تدور في جميع أنحاء جسدك وتحمل إشارات تولّد ثروة من الأحاسيس والأفكار والسلوكيات، والتي هي نفسها شلالات جُسَيْمية أخرى. ولحسن حظي فإن شلّال الجُسَيْمات المحدَّد الذي تدفّق استجابةً لمثيرات انكسار فرع الشجرة دفع جُسَيْماتك إلى العمل فورًا. وبالمقارنة، فإن استجابة الصخرة للمثيرات أشد خفوتًا. فالفوتونات المتصادمة وموجات الصوت والضغوط الحسّية لا تولّد إلّا أبسط ردود الفعل. قد تتذبذب جزيئات الصخرة قليلًا، وقد ترتفع درجة حرارتها قليلًا، أو في حالة هبوب الرياح القوية قد يتغير موضع جُسَيْماتها كلها قليلًا. هذا كل ما في الأمر. فلا يدور داخل الصخرة الكثير من الأمور. وما يجعلك مميزًا هو أن تنظيمك الداخلي المتطوّر يمكّنك من إصدار مجموعة ثرية من الاستجابات السلوكية.

المقصد هنا هو أنه عند تقييم الإرادة الحرة سنجني الكثير من تحويل الانتباه من التركيز الضيق على المسبب النهائي إلى قراءة أوسع للاستجابة البشرية. فحريتنا لا

تعني التحرّر من القوانين الفيزيائية الواقعة وراء قدرتنا على التأثير. بل إن حريتنا تعني إظهار السلوكيات -القفز والتفكير والتصور والمراقبة والتدبر والتفسير وما إلى ذلك- التي لا تتاح لجُل مجموعات الجُسَيْمات الأخرى. فالحرية البشرية لا تدور حول الاختيار القائم على الإرادة. وكل شيء كشفه العلم حتى الآن عزَّز الحجة القائلة بأن هذا التوسط الإرادي في سير حوادث الواقع لا وجود له. بدلًا من ذلك، تدور الحرية البشرية حول التحرّر من قيود مجموعة فقيرة من الاستجابات التي طالما قيَّدت سلوك العالم الجامد.

إن مفهوم الحرية هذا لا يتطلّب إرادة حرة. ففعلك الذي أنقذ حياتي، رغم تقديري الواجب له، نشأ من عمل القانون الفيزيائي، ومن ثم لم يكن نابعًا من الإرادة الحرة. لكن حقيقة أن جزيئاتك كانت قادرة على القفز من المقعد، ثم في وقت لاحق التفكير في عملها والتأثّر بتفكيرها، مذهلة تمامًا. فلا يمكن للجُسَيْمات المجتمعة في صخرة أن تفعل شيئًا يشبه هذا ولو من بعيد. وهذه القدرات التي تتجسّد على هيئة النطاق الشاسع المذهل من الفكر والشعور والسلوك هي ما يجسد جوهر كونك إنسانًا؛ فهذا هو جوهر الحرية البشرية.

قد يبدو استخدامي لمصطلح «حرة» لوصف السلوكيات، التي وفقًا لقوانين الفيزياء ليست نابعة من الإرادة الحرة، أشبه بالتلاعب اللغوي المخادع. لكن المقصد هو أنه مثلما اقترحت المدرسة الفلسفية التوافقية منذ فترة طويلة، فعندما يتعلّق الأمر بالحرية والفيزياء، لن نفقد كل صور الحرية، وثمة فائدة عظيمة في تدبر أنواع بديلة من الحرية التي تتوافق مع القانون الفيزيائي. هناك مقترحات عديدة حول كيفية تحقيق ذلك، لكن الأمر يبدو وكأن كل هذه النظريات تقدّم الأخبار السيئة بشكل قاتم، «عندما يتعلق الأمر بالنوع التقليدي من الإرادة الحرة، فلن يختلف حالك عن الصخرة»، ولكن بعد ذلك، وبينما تشيح بوجه عابس، تصيح قائلة: «لكن ابتهج! فهناك أنواع أخرى من الحرية، وهي مُرضية في حد ذاتها، ولديك الكثير منها»[43]. وفي النهج الذي أؤيده، توجد هذه الحرية في التحرر من مجموعة مقيّدة من السلوكيات.

أشعر شخصيًّا براحة كبيرة في هذه الصورة المختلفة للحرية. فبينما أجلس هنا، أكتب أفكاري، لا يزعجني إدراك أنه على مستوى الجُسَيْمات الأساسية كل ما أفكر به وكل ما أفعله ما هو إلّا نتاج لعمل قوانين الفيزياء الواقعة خارج نطاق سيطرتي. وما يهمني هو أنه خلافًا لمكتبي ومقعدي وكأسي، فإن مجموعة جُسَيْماتي قادرة على تنفيذ مجموعة شديدة التنوع من السلوكيات. وفي الواقع، لقد أَلَّفَت جُسَيْماتي للتو هذه العبارة تحديدًا، ويسرني أنها فعلت ذلك. بطبيعة الحال ما هذه الاستجابة سوى

أوامر ميكانيكا الكم التي تنفذها جُسَيْماتي، لكن هذا لا يقلل من واقعية الشعور. فأنا حر، ليس لأنني أستطيع أن أُبطل قوانين الفيزياء، وإنما لأن تنظيمي الداخلي المذهل قد حرّر استجاباتي السلوكية.

الأهمية، والتعلم، والفردية

ربما يبدو الابتعاد عن المفهوم التقليدي للإرادة الحرة وكأنه يتطلّب التخلي عن الكثير مما نقدره. فإذا كان سير حوادث الواقع، بما في ذلك واقع الكائنات العاقلة، مُحَدَّدًا عن طريق قوانين الفيزياء، فهل سلوكنا مهم؟ هل يمكننا ببساطة أن نسترخي، ولا نفعل شيئًا، ونترك الفيزياء تأخذ مجراها؟ هل يوجد مكان للفردانية؟ كيف يمكن أن تلعب القدرات التي نقدّرها كثيرًا، مثل التعلم والإبداع، أي دور؟

لنتناول هذا السؤال الأخير أولًا. وخلال ذلك، من المفيد التفكير في مكنسة الرومبا الروبوتية. هل تمتلك مكنسة الرومبا خاصية الإرادة الحرة التقليدية؟ لا تنزعج؛ فهذا ليس سؤالٍ مخادعٍ. سيتفق معظمنا على أن هذا غير صحيح. ومع ذلك، بينما تتزلق مكنسة الرومبا في أرجاء غرفة المعيشة الخاصة بك، وتواجه الجدران والأعمدة والأثاث، فإن تكويناتها الدقيقة الداخلية يعاد ترتيبها -إذ يتم تحديث خرائط التنقل والتعليمات الداخلية- وهذه التغييرات تعدّل السلوك اللاحق لمكنسة الرومبا. فمكنسة الرومبا تتعلم. وفي حقيقة الأمر، بينما تواجه مكنسة الرومبا التحدّي المتمثل في التنقل حول الأشياء التي واجهتها، فإن الحلول التي توظفها -مثل تجنّب تلك السلالم، أو الدوران حول قوائم الطاولة، وما إلى ذلك- تظهر نوعًا بدائيًا من الإبداع[44]. والتعلم والإبداع لا يتطلبان إرادة حرة.

إن تنظيمك الداخلي، أي «برمجياتك»، أرقى بكثير من مكنسة الرومبا، وهو ما يسهِّل تمتعك بقدرة أرقى على التعلم والإبداع. ففي أي لحظة، تكون جُسَيْماتك في تنظيم معيّن. وتعيد خبراتك، النابعة من اللقاءات الخارجية أو المداولات الداخلية، ترتيب هذا التنظيم. وتؤثّر عمليات إعادة الترتيب هذه على الكيفية التي ستتصرّف بها جُسَيْماتك في ما بعد. يعني هذا أن عمليات إعادة الترتيب تقوم بتحديث برمجياتك، وتعديل التعليمات التي توجّه أفكارك وأفعالك اللاحقة. ومن الممكن أن تَنتُج ومضة إبداعية، أو خطأ فادحًا، أو عبارة بارعة، أو عناقًا متعاطفًا، أو ملاحظة ازدرائية، أو عملًا بطوليًا بسبب تقدم مجموعة جسيماتك الشخصية من ترتيب إلى آخر. وبينما تلاحظ كيف يستجيب كل شخص وكل شيء لأفعالك، فإن مجموعة جُسَيْماتك تتغير مرة أخرى، وتعيد تشكيل نمطها من أجل تعديل سلوكك أكثر. على مستوى مكوناتك

الجُسَيْمية، هذا هو التعلم. وعندما تكون السلوكيات الناتجة جديدة، تكون عملية إعادة الترتيب قد ولَّدَت الإبداع.

تلقي هذه المناقشة الضوء على أحد مواضيعنا الرئيسية: الحاجة إلى القصص المتداخلة التي تفسر طبقات الواقع المتمايزة والمترابطة في الآن عينه. فإذا كنت قانعًا بقصة تصف سير حوادث الواقع على مستوى الجُسَيْمات فقط، فلن يوجد لديك حافز لإدخال مفاهيم مثل التعلم والإبداع (أو، في حقيقة الأمر، الإنتروبيا والتطور). فكل ما تحتاج إلى معرفته هو كيف تقوم مجموعات الجُسَيْمات بإعادة ترتيب تكوينها باستمرار، وأن المعلومات يتم توصيلها بواسطة القوانين الأساسية (وتحديد حالة الجُسَيْمات في وقت ما في الماضي). غير أن معظمنا لا يقنع بهذا النوع من القصص. ويجد معظمنا أن من المفيد رواية قصص إضافية، متوافقة مع السرد الاختزالي، ولكنها تركز على النطاقات الأكبر والأكثر أُلفة. في هذه القصص، التي تكون شخصياتها الرئيسية عبارة عن تجمّعات من الجُسَيْمات، مثلك ومثلي ومثل مكنسة الرومبا، تقدّم مفاهيم مثل التعلّم والإبداع (والإنتروبيا والتطوّر) لغة لا غنى عنها. وعلى الرغم من أن القصة الاختزالية التي تصف مكنسة الرومبا من شأنها تصنيف حركة مليارات ومليارات الجُسَيْمات، قد تفسر القصة ذات المستوى الأعلى كيف أدركت مستشعرات مكنسة الرومبا أنها كانت على حافة درجات السلم، وخزَّنت ذلك الموقع الخطير في الذاكرة، وعكست اتجاهها كي تتجنّب سقوطًا كارثيًا محتمَلًا. تتوافق القصتان تمامًا على الرغم من أن إحداهما تستخدم لغة الجُسَيْمات والقوانين بينما تستخدم الأخرى لغة المثيرات والاستجابات. ونظرًا إلى أن استجابات مكنسة الرومبا تتضمن القدرة على تعديل السلوك المستقبلي عن طريق تحديث تعليماتها الداخلية، تصير مفاهيم التعلّم والإبداع مكونًا جوهريًا من القصة ذات المستوى الأعلى.

تصير هذه القصص المتداخلة أكثر ارتباطًا وأهمية عندما يتعلّق الأمر بي وبك. فالسرد الاختزالي، الذي يصفنا كمجموعات من الجُسَيْمات، يقدم رؤى مهمة ولكن محدودة. ونحن ندرك، مثلًا، أننا مصنوعون من نفس المادة وتحكمنا نفس القوانين التي تحكم سائر البنى المادية. غير أن القصة ذات المستوى الأعلى، القصة البشرية، هي القصة التي نعيش حياتنا وفقًا لها. فنحن نفكر ونتداول، نعاني ونكافح، ننجح ونفشل. ومجددًا، يجب أن تكون القصص المروية بهذه اللغة المألوفة متوافقة تمامًا مع السرد الاختزالي المروي من منظور الجُسَيْمات. ولكن في خدمة الحياة اليومية، تصير هذه القصص ذات المستوى الأعلى أكثر فائدة بشكل لا مثيل له. فعندما أتناول العشاء مع زوجتي، لا يهمني أن أستمع إلى سرد للحركة التي ينفذّها المائة مليار مليار مليار

جُسَيْم التي تشكل جسدها. ومع ذلك، فعندما تخبرني زوجتي عن الأفكار التي تعمل على تطويرها، والأماكن التي ستذهب إليها، والأشخاص الذين تلتقي بهم، فإنني أصير مهتمًّا بكل جوارحي.

داخل هذه السرديات ذات المستوى الأعلى، نتحدث كما لو كانت أفعالنا ذات أهمية، وخياراتنا ذات تأثير، وقراراتنا ذات مغزى. لكن هل هي كذلك حقًّا في عالم تسير فيه الحوادث وفق ما تمليه القوانين الفيزيائية؟ نعم. بالطبع هي كذلك. عندما أشعلت عود الثقاب وأنا في العاشرة من عمري داخل فرن مملوء بالغاز، كان لهذا الفعل تبعات. فقد سبب هذا الفعل انفجارًا. فالسرد ذو المستوى الأعلى الذي يعرض سلسلة من الحوادث المتصلة -الشعور بالجوع، وضع البيتزا في الفرن، تشغيل الغاز، الانتظار، إشعال عود الثقاب، اشتعال ألسنة اللهب- دقيق وثاقب. لا تنفي الفيزياء هذه القصة. ولا تقلل الفيزياء من أهمية هذه القصة. بل إن الفيزياء تعزّز هذه القصة. وتخبرنا الفيزياء أن هناك سردًا آخر، يكمن أسفل القصة المروية على مستوى الإنسان، وهذا السرد يُروى بلغة القوانين والجُسَيْمات.

ما يثير الدهشة، والانزعاج لدى البعض، هو أن هذه السرديات الكامنة تكشف أن المُعتقَد المشترك الذي يتغلغل داخل قصصنا عالية المستوى مغلوط. فنحن نشعر بأننا المالكون المُطلقون لخياراتنا وقراراتنا وأفعالنا، لكن القصة الاختزالية توضح بجلاء أننا لسنا كذلك. فلا يمكن لأفكارنا ولا سلوكياتنا أن تتحرر من قبضة القانون الفيزيائي. ومع ذلك فإن التسلسلات المترابطة سببيًّا القابعة في قلب قصصنا العالية المستوى -إحساسي بالجوع الذي يدفعني إلى وضع البيتزا داخل الفرن، ويقودني إلى التحقق من درجة حرارتها، ما يؤدي إلى إشعال الثقاب- متجسِّدة وحقيقية. فالأفكار والاستجابات والأفعال لها أهميتها. وينتج عنها عواقب. وهي بمنزلة حلقات سلسلة تكشف الحوادث المادية. الأمر غير المتوقع استنادًا إلى خبراتنا وحدسنا هو أن تنشأ مثل هذه الأفكار والاستجابات والأفعال من مسببات سابقة مرت عبر قوانين الفيزياء.

للمسؤولية دور أيضًا. فعلى الرغم من أن جُسَيْماتي، ومن ثم سلوكياتي، تخضع للولاية القضائية الكاملة للقانون الفيزيائي، فإنني «أنا»، بصورة حرفية جدًّا حتى وإن كانت غير مألوفة، المسؤول عن أفعالي. ففي أي لحظة من الزمن، أنا أمثل مجموعة جُسَيْماتي. وكلمة «أنا» هنا ليست سوى اختصار يدل على تكوين الجُسَيْمات الخاص بي (الذي يحتفظ، على الرغم من ديناميكيته، بأنماط مستقرة بما يكفي لتوفير شعور ثابت بالهوية الشخصية[45]). وبناءً على ذلك، فإن سلوك جُسَيْماتي هو سلوكي. إن التوجيه الكامن للفيزياء لهذا السلوك عن طريق سيطرتها على جُسَيْماتي أمر مثير

للاهتمام بالتأكيد. وكون هذا السلوك غير نابع من الإرادة الحرة هو أمر جدير بالإقرار. لكن هذه الملاحظات لا تقلل من شأن الوصف العالي المستوى الذي يدرك أن ترتيب الجُسَيْمات الخاص بي -الطريقة التي تنتظم بها جُسَيْماتي في شبكة كيميائية وبيولوجية معقّدة تتضمّن الجينات والبروتينات والخلايا والخلايا العصبية والوصلات المشبكية وما إلى ذلك- يستجيب بطريقة فريدة بالنسبة لي. فأنت وأنا نتحدّث بشكل مختلف، ونتصرف بشكل مختلف، ونستجيب بشكل مختلف، ونفكر بشكل مختلف لأن جُسَيْماتنا مرتبة بشكل مختلف. وبينما يتعلم ترتيب جُسَيْماتي ويفكر ويجمِّع ويتفاعل ويستجيب، فإنه يطبع شخصيتي ويضفي مسؤوليتي على كل فعل أقوم به[46].

تشهد القدرة البشرية على الاستجابة بتنوّع كبير على المبادئ الجوهرية التي وجهت استكشافنا حتى الآن: رقصة الإنتروبيا الثنائية والتطوّر عن طريق الانتخاب الطبيعي. تفسر رقصة الإنتروبيا الثنائية كيف يمكن للكتل المنظمة أن تتشكّل في عالم متزايد العشوائية، وكيف أن بعض هذه الكتل، النجوم، يمكن أن يظل مستقرًا على مدى مليارات الأعوام بسبب ما ينتجه من مخرجات ثابتة من الحرارة والضوء. ويفسّر التطوّر كيف يمكن لمجموعات الجُسَيْمات أن تتّحد في أنماط تسهل السلوكيات المعقدة، من التضاعف والإصلاح إلى استخلاص الطاقة والمعالجة الأيضية إلى الحركة والنمو، وذلك في بيئة مواتية مثل كوكب يتمتّع بدَفق ثابت من الدفء من أحد النجوم. تكون المجموعات التي تكتسب المزيد من القدرات على التفكير والتعلّم، والتواصل والتعاون، والتخيل والتنبؤ، مهيأة على نحو أفضل للبقاء، ومن ثَم إنتاج مجموعات مماثلة ذات قدرات مماثلة. وهكذا ينتخب التطور هذه القدرات، وينقّحها جيلًا بعد جيل. وبمرور الوقت تخلص بعض المجموعات إلى أن قدراتها المعرفية استثنائية للغاية لدرجة أنها تسمو فوق القانون الفيزيائي. وبعض من أعلى هذه المجموعات قدرة على التفكير تتحيَّر بشدة بسبب الصراع بين حرية الإرادة التي يَخبرونها والسيطرة التامة التي يقرون بها للقانون الفيزيائي. لكن الحقيقة هي أنه لا يوجد صراع لأنه لا يوجد سمو فوق القانون الفيزيائي. فهذا مستحيل. بدلًا من ذلك تحتاج مجموعات الجُسَيْمات إلى إعادة تقييم قدراتها، بحيث لا تركز فقط على القوانين التي تحكم الجُسَيْمات نفسها وإنما على السلوكيات العالية المستوى والمعقّدة والغنية بشكل استثنائي التي يمكن لكل مجموعة من الجُسَيْمات -وكل فرد- إظهارها والشعور بها. وبفضل عملية إعادة التوجيه هذه يمكن لمجموعات الجُسَيْمات أن تروي قصة كاشفة عن السلوكيات والخبرات المدهشة، عامرة بالإرادات التي تشعر بالحرية وتتحدّث كما لو أن لديها تحكم مستقل، ومع ذلك فهي تخضع بالكامل لقوانين الفيزياء.

سيرفض البعض هذا الاستنتاج. كان هذا موقفي بالتأكيد. وعلى الرغم من أنني مقتنع فكريًا بالحجة التي قدمتها، إلّا أن ذلك لا يبطل انطباعي العميق والقوي بأنني أتحكّم بحرية في ما يحدث داخل رأسي. غير أن قوة هذا الانطباع تعتمد بدرجة كبيرة على ما يتسم به من ألفة. وكما يمكن للعديد ممن جربوا المواد التي تغيّر الحالة الذهنية أن يشهدوا، فعندما يتم تعديل هوية الجُسَيْمات المنطلقة عبر الدماغ ولو بصورة متواضعة، فإن المألوف يمكن أن يتغير. ومن الممكن لميزان القوة داخل الدماغ أن يتغير. ويمكن أن يبدو العقل وكأن له عقلًا خاصًا به. قبل عقود، في مدينة أمستردام الجميلة، أسفرت تجربة كهذه عن واحدة من أكثر الليالي إرعابًا في حياتي. فقد خلق عقلي عالمًا داخليًا كانت توجد فيه نسخ لا حصر لها مني، كل منها مصمم على تقويض الواقع الذي تعيشه النسخ الأخرى. وكلما اقتنعت نسخة مني بأنها هي التي تعيش الواقع «الحقيقي»، كانت النسخة التالية تكشف عن زيف ذلك العالم، ومحت كل شيء وكل شخص اهتمت بشأنه نسختي الأولى، وخلال تلك العملية كشفت عن واقع آخر «حقيقي»، كانت نسخة تالية مني تسكنه، ثم تكرر التسلسل الكابوسي مجددًا. مرارًا وتكرارًا.

من منظور الفيزياء، كل ما حدث هو أنني أدخلت في دماغي مجموعة صغيرة من الجُسَيْمات الغريبة. بيد أن هذا التغيير كان كافيًا للقضاء على الانطباع المألوف بأنني أتحكّم بحرية في الأنشطة التي تتجسّد في ذهني. وبينما ظل نموذج المستوى الاختزالي يعمل بكامل قوته (الجُسَيْمات التي تحكمها القوانين الفيزيائية)، فقد اختلّ نموذج المستوى الإنساني (عقل موثوق به يتمتّع بالإرادة الحرة ويتنقل عبر واقع مستقر). بطبيعة الحال لا أقدّم اللحظة المغيرة للعقل كحجة للإرادة الحرة أو ضدها. غير أن هذه الخبرة غرست داخلي فَهمًا كان من دونها سيظل مجردًا. إن إحساسنا بما نحن عليه، والقدرات التي نمتلكها، وحرية الإرادة التي نمارسها فيما يبدو تبزغ كلّها من الجُسَيْمات التي تتحرّك داخل رؤوسنا. وإذا حدث تلاعب بهذه الجُسَيْمات، فمن الممكن أن تتداعى هذه الصفات. وقد ساعدتني هذه الخبرة على التوفيق بين فَهمي العقلاني للفيزياء وإحساسي البديهي بالعقل.

تمتلئ الخبرة اليومية واللغة اليومية بإشارات مرجعية، ضمنية وصريحة، إلى الإرادة الحرة. فنحن نتحدّث عن اتخاذ الخيارات والوصول إلى القرارات. ونتحدّث عن الأفعال التي تعتمد على تلك القرارات. ونتحدّث عن تبعات هذه الأفعال على حياتنا وحياة القريبين منا. مرة أخرى، لا تعني مناقشتنا للإرادة الحرة أن هذه الأوصاف عديمة المعنى أو يجب التخلص منها. فهذه الأوصاف تُسرَد باللغة المناسبة للقصة على المستوى الإنساني. فنحن من نتخذ الخيارات. ونحن من نتوصّل إلى القرارات.

ونحن من ننفّذ الأفعال. وهذه الأفعال لها تبعات بالتأكيد. وكل هذا حقيقي. ولكن نظرًا إلى أن القصة على المستوى الإنساني يجب أن تكون متوافقة مع السرد الاختزالي، فإننا بحاجة إلى تنقيح لغتنا وافتراضاتنا. ونحتاج إلى أن ننحّي جانبًا الفكرة القائلة بأن خياراتنا وقراراتنا وأفعالنا يقع أصلها المُطلَق داخل كل فرد منا، وأنها تُجلَب إلى الوجود بواسطة ذواتنا الفاعلة المستقلة، وأنها تنبثق من مداولات تقع بعيدًا عن نطاق القانون الفيزيائي. نحن بحاجة إلى أن ندرك أنه على الرغم من أن الإحساس بالإرادة الحرة حقيقي، فإن القدرة على ممارسة الإرادة الحرة -قدرة العقل البشري على السمو فوق القوانين التي تحكم التقدم الفيزيائي- ليست كذلك. وإذا أعدنا تفسير «الإرادة الحرّة» بحيث تعني هذا الإحساس، ستصير قصصنا على المستوى الإنساني متوافقة مع السرد الاختزالي. وبالترافق مع التحوّل في التركيز من الأصل المُطلَق إلى السلوك المُحرَّر، يمكننا أن نتبنى صورة مختلفة منيعة وبعيدة الأثر من الحرية الإنسانية.

كما هو الحال مع أصل الحياة، لا توجد لحظة محدّدة على نحو قاطع ظهر فيها الوعي، أو نشأ فيها تأمل الذات، أو بدأ فيها الإحساس بالإرادة الحرة. بيد أن سجل الحفريات يشير إلى أنه قبل مائة ألف عام، وربما قبل ذلك، بدأ أسلافنا يشعرون بهذه الخبرات. لقد وقف البشر الأوائل على قدمين منذ زمن بعيد. والآن يمكننا أن ننظر حولنا ونتساءل.

ما الذي فعلناه، إذًا، بهذه القدرات؟



الفصل السادس

اللغة والقصة

من العقل إلى الخيال

تلعب الأنماط دورًا محوريًا في الخبرة البشرية. فنحن نظل باقين على قيد الحياة لأننا نستطيع الشعور بإيقاعات العالم والاستجابة لها. سيكون الغد مختلفًا عن اليوم، لكننا نعتمد، رغم التحولات والتبدلات، على وجود خاصّية الاستمرارية. فستشرق الشمس وتسقط الصخور وتتدفق المياه. وتؤثر هذه الأنماط، ومجموعة لا حصر لها من الأنماط المتحدة التي نواجهها من لحظة إلى أخرى، على سلوكنا تأثيرًا عميقًا. فالغرائز ضرورية والذاكرة مهمة لأن الأنماط باقية.

والرياضيات هي لغة التعبير عن الأنماط. فباستخدام حفنة من الرموز، يمكننا إكساب الأنماط الدقة والاقتصاد. وقد لخص جاليليو الأمر حين أعلن أن كتاب الطبيعة، الذي آمن أنه كان يكشف عن وجود الله مثله مثل الكتاب المقدس، مكتوب بلغة الرياضيات. وخلال القرون التالية على ذلك ناقش المفكرون نسخة علمانية من هذا الرأي. هل الرياضيات لغة طوّرها البشر من أجل وصف الأنماط التي نواجهها؟ أم إن الرياضيات هي مصدر الواقع، مما يجعل أنماط العالم تعبيرًا عن الحقيقة الرياضية؟ تميل رؤيتي الرومانسية إلى الرأي الأخير. كم هو رائع أن نتخيل أن حساباتنا الرياضية تمس أساس الواقع. لكن تقييمي الأقل عاطفية يقبل فكرة كون الرياضيات لغة من صنعنا، تم تطويرها جزئيًا من خلال الانغماس المفرط في ولعنا بالأنماط. وعلى أي حال، قدر كبير من التحليل الرياضي لا يلعب إلّا دورًا ضئيلًا في تعزيز البقاء. فنادرًا ما تمكن أسلافنا من توفير وجبة، أو تأمين فرصة للتكاثر، عن طريق التفكير في الأعداد الأولية أو تربيع الدائرة.

في العصر الحديث، أرست قدرات أينشتاين معيارًا غير مسبوق لاستيعاب إيقاعات الطبيعة والاستفادة منها. ولكن على الرغم من أنه يمكن تلخيص إرثه عبر حفنة من العبارات الرياضية -الجامعة والدقيقة والكاسحة- غير أن غزوات أينشتاين في أعماق الواقع لم تبدأ دائمًا بالمعادلات. أو حتى باللغة. «كثيرًا ما أفكر بالموسيقى»[1]، هكذا وصف الأمر. «نادرًا ما أفكر بالكلمات من الأساس»[2]. ربما تعكس عملية تفكيرك

عملية أينشتاين. لكن ليس أنا. ففي بعض الأحيان، عندما أعاني من مشكلة صعبة، تأتيني ومضة مفاجئة من البصيرة تعكس عملية ما أو أخرى من العمليات الدماغية القابعة تحت الإدراك الواعي. ولكن عندما أكون مدركًا، حتى عند استخدام الصور الذهنية كي أتبين طريقي نحو الحل، سيكون من قبيل المبالغة القول بأن الكلمات تغيب عني أو أنني أكوّن الارتباطات عن طريق الموسيقى. وفي أحيان كثيرة، أحقّق تقدّمًا في الفيزياء من خلال تعديل المعادلات وجمع الاستنتاجات في عبارات عادية أكتبها بشكل مطوّل في دفاتر الملاحظات التي تملأ رفًا تلو الآخر. وعندما أركز، غالبًا ما أتحدّث إلى نفسي، عادةً في صمت، وأحيانًا بصورة مسموعة. فالكلمات ضرورية للعملية. وعلى الرغم من أنني أجد عبارة فيتجنشتاين التي قال فيها: «حدود لغتي تعني حدود عالمي»[3] فضفاضة جدًا في نطاقها -إذ ليس لديَّ شك في أن هناك صفات حيوية للفكر والخبرة توجد خارج حدود اللغة، وهي نقطة سنعود إليها لاحقًا- فمن دون اللغة ستقل قدرتي على القيام بأنواع معينة من المناورات العقلية. إن الكلمات لا تعبّر فقط عن المنطق، بل هي تضفي عليه الحيوية كذلك. أو كما قالت توني موريسون بكلمات رشيقة لا تُضاهى: «نحن نموت. قد يكون هذا معنى الحياة. لكننا نستخدم اللغة. وقد يكون هذا هو مقياس حياتنا»[4].

اللغة ضرورية لإطلاق العنان للخيال، والاستثناء الوحيد هم العباقرة المتفرِّدون، بل ربما لا يعد هؤلاء استثناءً أيضًا. فمن خلال اللغة يمكننا التعبير عن رؤية يقدّم فيها العالم الحقيقي لمحة فقيرة عن إمكانية أشد ثراءً بكثير. فيمكننا أن نستحضر الصور، الحقيقية والخيالية، في العقول النائية والقريبة. ويمكننا تمرير المعارف المكتسبة بصعوبة، والاستعاضة عن صعوبة الاكتشاف بسهولة التدريس. ويمكننا تبادل الخطط ومواءمة النوايا، وتسهيل العمل المنسَّق. ويمكننا الجمع بين قدراتنا الإبداعية الفردية في قوّة جماعية مؤثّرة هائلة. ويمكننا أن ننظر إلى أنفسنا وندرك أنه على الرغم من أن التطوّر شكّلنا، فإننا قادرون على الارتقاء وتجاوز احتياجات البقاء. ويمكننا أن ننبهر من كيفية قيام مجموعة مرتبة بعناية من الهمهمات والانزلاقات والاحتكاكات والتوقّفات بنقل رؤىً ثاقبة عن طبيعة المكان والزمن، أو بناء صورة مؤثّرة للحب والموت: «لم ينسَ ويلبر شارلوت أبدًا. وعلى الرغم من أنه أحب أطفالها وأحفادها حُبًا جمًّا، إلّا أن أيًّا من العناكب الجديدة لم يأخذ مكانها في قلبه»(1).

فمع اللغة، نشرع في كتابة سرد جماعي، وقصص متراكبة، من أجل فهم خبراتنا.

---

(1) من رواية «شبكة شارلوت» للكاتب إي بي وايت، وتحكي الرواية قصة خنزير اسمه ويبر وصداقته بأنثى عنكبوت اسمها شارلوت. وكان هذا الكتاب أحد أفضل كتب الأطفال مبيعًا في عام 2000 (المترجم).

بصرف النظر عن العبارة المشكوك في صحتها: «سيدتي، أنا آدم»، لا أحد يعرف متى بدأنا التحدث أو لماذا. تكهن داروين بأن اللغة نشأت من الأغنيات وتخيَّل أن أولئك الذين يمتلكون مواهب تشبه إلفيس كان من شأنهم أن يجتذبوا شريكات التزاوج بسهولة أكبر، ومن ثم يتكاثرون ويزوّدون الأجيال اللاحقة بوفرة من المغنين الموهوبين. ومع الوقت، تحوّلت أصواتهم الشجية إلى كلمات[5]. رأى ألفريد راسل والاس، شريك داروين الأقل شهرة في اكتشاف التطوّر عن طريق الانتخاب الطبيعي، الأمر بشكل مختلف. فقد كان مقتنعًا بأن الانتخاب الطبيعي لا يمكن أن يسلط الضوء على القدرات البشرية للموسيقى والفن، وخاصة اللغة. ففي ساحة البقاء التنافسية، لم يكن أسلافنا الذين يغنّون أو يرسمون أو يثرثرون، بحسب رأي والاس، في وضع أفضل من أبناء عمومتهم الأقل تألقًا. كان والاس يرى طريقًا واحدًا فقط إلى التقدم، وكتب في دورية *Quarterly Review* الواسعة الانتشار: «علينا أن نعترف باحتمالية أنه خلال تطور الجنس البشري، وجّه ذكاءٌ أعلى القوانين نفسها من أجل تحقيق غايات نبيلة»[6]. فمن المؤكد أن قوانين التطوّر العمياء قد سُخِّرَت بواسطة قوة إلهية وَوُجِّهَت نحو تطوير الاتصال والثقافة. وعندما قرأ داروين مقالة والاس شعر بالذعر، وكتب بخط عريض في هامش الصفحة كلمة «لا»[7]، وأرسل إلى والاس ملحوظة يقول فيها: «آمل أنك لم تقتل طفلك وطفلي بالكامل»[8].

خلال القرن ونصف القرن التاليين على ذلك، طور الباحثون مجموعة متنوعة من النظريات حول أصل اللغة وتطورها المبكر، ولكن مثل مصارعة الفرق الزوجية، كان كل مُقترح مقنع في ظاهره يُقابَل بخصم جديد. وثمة إجماع أكبر بكثير حول التطوّر المبكر للكون. ورغم أن هذا قد يبدو غريبًا، فإنه أمر منطقي. فقد خلَّفَت ولادة الكون كنزًا من الأحافير. أما ولادة اللغة فلم تفعل. فإشعاع الخلفية الميكروني الكوني، والوفرة الخاصة لذرات بسيطة كالهيدروجين والهيليوم، وحركة المجرات البعيدة كلّها تُعد بمنزلة بصمات مباشرة للعمليات التي حدثت خلال الحقبة الأولى للكون. أما الموجات الصوتية، وهي التجسيد الأقدم للغة، فتتبدّد بسرعة ويطويها النسيان؛ إذ تتلاشى بعد لحظة أو لحظتين من إنتاجها. وفي غياب آثار ملموسة، يتأخر الباحثون في إعادة بناء التاريخ المبكر للغة، وليس من المستغرب أن تكون نتيجة ذلك وفرة من النظريات المختلفة، المتضاربة عادة.

ومع ذلك، ثمة اتفاق واسع على أن اللغة البشرية تختلف اختلافًا عميقًا عن أي صورة أخرى من صور التواصل في المملكة الحيوانية. إذا كنتَ قردًا متوسط الحجم

من نوع الفرفت، فستكون قادرًا على إصدار تنبيه، وتحذير القرود الأخرى في قبيلتك من أن المفترس الآخذ في الاقتراب هو نمر (أنين قصير عالي النبرة)، أو نسر (نخير متكرّر منخفض النبرة)، أو ثعبان («هسهسة» متّصلة تشبه صوت الأفعى)[9]. لكنك ستعجز تمامًا عن مناقشة الرعب الذي شعرت به عندما انزلق ثعبان بالقرب منك بالأمس، أو التعبير عن خطتك للإغارة على عش الطيور القريب غدًا. فمهاراتك اللغوية تعتمد على مجموعة صغيرة ومغلقة من الألفاظ المحدّدة ذات المعنى الثابت، تركّز جميعها على ما يحدث هنا والآن. ينطبق الشيء نفسه على صور التواصل الواضحة داخل الأنواع الأخرى. وقد لخص برتراند راسل الأمر قائلًا: «لا يستطيع الكلب أن يروي سيرته الذاتية. ومهما نبح في بلاغة، فلا يمكنه أن يخبرك أن والديه كانا صادقَين، لكنْ فقيران»[10]. اللغة البشرية مختلفة تمامًا؛ إذ إن اللغة البشرية مفتوحة. وبدلًا من استخدام عبارات ثابتة ومحدودة، فإننا نقوم بدمج وإعادة دمج مجموعة محدودة من المقاطع الصوتية من أجل إنتاج تسلسلات معقّدة ومتدرّجة وغير محدودة بالكامل تقريبًا من الأصوات تنقل مجموعة غير محدودة من الأفكار. ويمكننا أن نتحدث عن ثعبان الأمس أو عش الغد بنفس السهولة التي نصف بها حلمًا مبهجًا فيه أحصنة طائرة أحادية القرن أو نعبر عن قلقنا العميق مع حلول الليل عبر الأفق.

إذا تعمّقنا في الأمر بدرجة أكبر سنواجه جانبًا مثيرًا للجدل. فكيف في غضون بضع سنوات قصيرة بعد الولادة، ومن دون تعليمات رسمية، نتقن لغة واحدة أو حتى لغات متعدّدة؟ فهل أدمغتنا مهيأة بشكل خاص لاكتساب اللغة، أم أن الانغماس الثقافي بالترافق مع ميلنا العام لتعلّم الأشياء الجديدة يقدّم تفسيرًا ملائمًا؟ هل بدأت اللغة البشرية كمجموعات من التعبيرات الصوتية ذات المعاني الثابتة، مثل نداءات إنذار قرد الفرفت، والتي انقسمت بعد ذلك إلى كلمات، أم بدأت اللغة على صورة أصوات أولية نمت لتصبح كلمات وعبارات؟ لماذا لدينا لغة؟ هل حابى التطور اللغة بشكل مباشر لأنها توفر مزية بقاء، أم إن اللغة نتاج ثانوي للمنتجات التطورية الأخرى مثل الدماغ الأكبر حجمًا؟ عبر آلاف السنين هذه، ما الذي كنا نتحدّث عنه؟ ولماذا؟

ذهب نعوم تشومسكي، أحد أكثر اللغويين المعاصرين تأثيرًا، إلى أن القدرة البشرية على اكتساب اللغة تعتمد على امتلاك كل فرد منا قواعد لغوية شاملة مغروسة في أدمغتنا؛ وهو مفهوم له أصل تاريخي ثري يعود إلى الفيلسوف روجر بيكون في القرن الثالث عشر، الذي خلص إلى أن الكثير من لغات العالم تشترك في أساس بنيوي مشترك. خضع المصطلح في الاستخدام الحديث لتفسيرات عديدة مختلفة، وعلى مر السنين قام تشومسكي أيضًا بتنقيح معناه. وتقضي فرضية القواعد اللغوية الشاملة، في

أقل صورها إثارةً للجدل، بأنه يوجد شيء في تركيبنا العصبي البيولوجي الفطري يوفر صورة بدائية للغة، حافز دماغي موجود لدى كل أفراد النوع يحضنا كلنا على الاستماع والفهم والتحدّث. ويحسب هذا المنطق، فكيف إذًا يستطيع الأطفال المعرَّضون للهجوم اللغوي العشوائي والمجزَّأ والحر في الحياة اليومية، استيعاب ثروة من التركيبات والقواعد النحوية الدقيقة من دون امتلاك ترسانة ذهنية هائلة تقف على أهبة الاستعداد لمعالجة ذلك الهجوم اللفظي؟ ونظرًا إلى أن أي طفل يمكنه تعلم أي لغة، فإن الترسانة العقلية لا يمكن أن تكون خاصة بكل لغة؛ بل يجب أن يكون العقل قادرًا على التقاط جوهر شامل مشترك بين جميع اللغات. اقترح تشومسكي أن حدثًا بيولوجيًا عصبيًا فرديًا، ربما تكون عملية «إعادة توصيل طفيفة للدماغ» حدثت قبل ثمانين ألف عام، ربما يكون قد أدى إلى اكتساب أسلافنا هذه القدرة، وهو ما أطلق انفجارًا إدراكيًا عظيمًا نشر اللغة بين أفراد النوع[11].

يقترح العالمان في علم نفس المعرفة ستيفن بينكر وبول بلوم، وهما رائدا نهج داروينى لدراسة اللغة، تاريخًا أقل تفصيلًا، تاريخًا ظهرت فيه اللغة وتطوّرت عن طريق النمط المألوف للتراكم التدريجي للتغيرات المتزايدة التي وفر كل منها درجة من مزية البقاء[12]. فبينما كان أسلافنا الصيادون وجامعو الثمار يجوبون السهول والغابات، كانت القدرة على التواصل -«هناك مجموعة من الخنازير البرية ترعى أمامنا جهة اليسار»، أو «احترس من بارني، فهو يضع عينيه على ويلما»، أو «هذه طريقة أفضل لربط هذا الحجر المشحوذ بالمقبض»- ضرورية للعمل الفعال للمجموعة وحيوية للمشاركة في المعرفة المتراكمة. وبهذا امتلكت الأدمغة القادرة على التواصل مع الأدمغة الأخرى مزية في الساحة التنافسية للبقاء والتكاثر، مما أدى إلى تنقيح القدرات اللغوية وانتشارها على نطاق واسع. وثمة باحثون آخرون يرون أن هناك مجموعة من صور التكيف التي تشمل التحكّم في التنفّس، والحفظ، والتفكير الرمزي، والوعي بالعقول الأخرى، وتشكيل المجموعات وما إلى ذلك، ربما عملت جنبًا إلى جنب لإنتاج اللغة على الرغم من أن اللغة نفسها ربما لا تكون لها صلة كبيرة بقيمة البقاء الخاصة بأوجه التكيف نفسها[13].

من غير المعروف يقينًا الوقت الذي انقضى منذ أن بدأ البشر في التحدّث. فلا وجود تقريبًا لأي أدلة لغوية من الماضي البعيد، ولكن عن طريق فحص الأدلة الأثرية المعقولة، اقترح الباحثون أطرًا زمنية للوقت الذي ظهرت فيه اللغة للمرة الأولى. فالقِطع الأثرية مثل الأدوات ذات المقابض (الحجارة أو العظام المشحوذة المربوطة بإحكام بمقبض)، وفن الكهوف، والنقوش الهندسية، والخرز، كلها توفر دليلًا على أن أسلافنا انخرطوا -منذ ما لا يقل عن مائة ألف عام مضت- في التخطيط والتفكير الرمزي،

وفي تفاعلات اجتماعية متقدمة. ونظرًا إلى أننا نميل إلى ربط هذه القدرات المعرفية المعقدة باللغة، يمكننا أن نتخيل أنه عندما قام أسلافنا بشحذ رماحهم وفؤوسهم أو الزحف عبر الكهوف المظلمة لرسم الطيور وثيران البيسون، فإنهم كانوا يثرثرون حول ما سيصطادونه غدًا أو نار المخيم في الليلة الماضية.

هناك أدلة مباشرة أكثر، من مجموعة مختلفة من الرؤى الأثرية، تُجمع على وجود القدرة على التحدّث. فقد خلص العلماء الذين يتتبّعون نمو التجاويف القحفية والتغيرات البنيوية في الفم والحلق إلى أن أسلافنا ربما امتلكوا القدرة الفسيولوجية على التحدث قبل أكثر من مليون عام. توفّر البيولوجيا الجزيئية أدلة أيضًا. فالحديث البشري يتطلب درجة عالية من البراعة الصوتية والشفوية، وفي العام 2001 حدد الباحثون ما قد يكون أساسًا وراثيًا ضروريًا لقدرات كهذه. فبعد دراسة عائلة بريطانية تعاني من اضطراب في الكلام يمتد لثلاثة أجيال -صعوبة في قواعد النحو وتنسيق الحركات المعقدة للفم والوجه والحنجرة الضروري من أجل الكلام العادي- حدَّدَ الباحثون مشكلة وراثية، تتمثل في تغيير حرف واحد في جين يُدعى *FOXP2* يوجد بالكروموسوم البشري رقم 14[7]. يعاني أفراد العائلة المصابون من هذا الخطأ المتعلّق بالتعليمات، وهو ما أدى إلى إعاقة كل من اللغة والكلام لديهم إعاقة شديدة. وقد أطلقت التغطية الصحيفية المبكرة للاكتشاف على الجين *FOXP2* اسم «جين القواعد النحوية» أو «جين اللغة»، وهي عناوين جاذبة للانتباه أزعجت الباحثين المطلعين، ولكن بصرف النظر عن هذه المبالغة يبدو أن جين *FOXP2* هو أحد المكونات الأساسية للكلام العادي واللغة.

من المثير للاهتمام أنه تمّ التعرف على نُسَخ قريبة من الجين *FOXP2* في العديد من الأنواع، من الشمبانزي إلى الطيور إلى الأسماك، مما يمكّن الباحثين من تتبع كيفية تغيُّر الجين عبر التاريخ التطوري. في حالة الشمبانزي، يختلف البروتين المُشَفَّر بواسطة جين *FOXP2* الخاص بهذا النوع عن البروتين الموجود لدينا في حمضين فقط من الأحماض الأمينية (من ضمن أكثر من سبعمائة حمض)، في حين أن بروتين النياندرتال مطابق لنا[15]. هل كان أبناء عمومتنا من النياندرتال يتحدّثون؟ لا أحد يعرف. لكن هذا العمل الاستقصائي يشير إلى أن الأساس الوراثي للكلام واللغة ربما غُرس في وقت ما بعد انفصالنا عن الشمبانزي، قبل بضعة ملايين من السنين، ولكن قبل انفصالنا عن النياندرتال، قبل زهاء ستمائة ألف عام[16].

الروابط المقترحة بين اللغة وكل علامة من العلامات التاريخية -الأعمال الأثرية القديمة، والبنى الفيسيولوجية، والسمات الوراثية- بارعة لكنها غير حاسمة. ونتيجة لذلك فإن الدراسات التي تستند إلى هذه العلامات تقدم نطاقًا واسعًا للوقت الذي ربما

ظهرت فيه الكلمات الأولى في العالم، يتراوح من عشرات الآلاف إلى بضعة ملايين من السنين. وكما لاحظ الباحثون المتشككون أيضًا فإن امتلاك القدرة الجسدية والرشاقة الذهنية على الانخراط في محادثة شيء، والقيام بذلك حقًا شيء مختلف تمامًا.

ما الذي حفزنا، إذًا، على التحدّث؟

لماذا نتحدَّث؟

لا يوجد نقص في الأفكار التي تفسِّر لماذا كسر أسلافنا الأوائل الصمت. ويقول عالِم اللغويات جاي دويتشر إن الباحثين حددوا أولى الكلمات التي ظهرت «من الصيحات والنداءات، ومن إيماءات اليد ولغة الإشارة، ومن القدرة على المحاكاة، ومن القدرة على الخداع، ومن الاستمالة، ومن الغناء والرقص والإيقاع، ومن المضغ والمَصّ واللَّعق، ومن أي نشاط آخر تحت الشمس تقريبًا»[17]، وهي قائمة مبهجة تعكس على الأرجح التنظير الإبداعي أكثر مما تعكس السوابق التاريخية للغة. ومع ذلك، فربما تروي واحدة من هذه الأفكار، أو مزيج منها، قصة ذات صلة، لذا دعونا نلقي نظرة على بعض الاقتراحات المتعلّقة بالمصدر الذي أتت منه كلماتنا الأولى وسبب استمرارها.

في الأزمنة القديمة، قبل ابتكار الأقمشة التي تشكّل حمّالة الأطفال، كانت الأم التي تؤدي أي مهمة تضع طفلها أرضًا. وكان الأطفال الذين يصيحون ويخرخرون هم مَن يجذبون انتباه الأم مجددًا، وربما كان رد فعل الأم صوتيًا أيضًا -على شكل مناغاة وهمهمة وخنخنة- مدعومًا بتعبيرات وجه مهدئة، وإيماءات باليد، ولمس لطيف. كان من شأن مناغاة الطفل والاستجابة الصوتية للأم أن تؤدي إلى ارتفاع معدلات بقاء الرضَّع، وهو ما جعل التعبير الصوتي يحظى بمحاباة الانتخاب الطبيعي، ووفق هذا المُقترَح فإن هذا وضع أسلافنا على مسار الكلمات واللغة[18].

وحتى إذا لم تفعل الأم ذلك من أجلك، فإن الإيماءات توفّر وسيلة مباشرة لتوصيل المعلومات الأساسية والحيوية في ذات الوقت؛ مثل الإيماء نحو هذا الشيء أو ذلك الموضع. وعلى الرغم من افتقار بعض أبناء عمومتنا من غير الرئيسيات للغة منطوقة، فبإمكانهم أن يكونوا بارعين في توصيل الأفكار البدائية من خلال إيماءات الأيدي والجسد. وفي البيئات البحثية الخاضعة للضبط، تعلّمت قردة الشمبانزي مئات من إشارات اليد التي ترمز إلى مختلف الأفعال والأشياء والأفكار. ربما، إذًا، ظهرت لغتنا المنطوقة من مرحلة سابقة من التواصل القائم على الإيماءات. وبينما صارت أيدينا مشغولة على نحو متزايد ببناء الأدوات واستخدامها، وبينما جعلت التجمّعات الأكثر تعقيدًا الإيماءات غير فعالة أو خرقاء -إذ من الصعب رؤيتها في الليل، ومن الصعب

رؤية أيدي الجميع وأجسادهم في المجموعات التي تقوم بالصيد أو جمع الثمار- قد يوفر التعبير الصوتي وسيلة أكثر فاعلية لمشاركة المعلومات. ونظرًا إلى أنني من بين أولئك الأشخاص الذين يحرّكون أيديهم كثيرًا خلال الحديث، وأحيانًا قبله، فإن هذا التفسير يبدو معقولًا في نظري بشكل خاص.

ومع ذلك، إذا ظللتَ متشككًا في فكرة الإيماءات، تدبّر اقتراح عالِم النفس التطوري روبن دونبار القائل بأن اللغة ظهرت كبديل كفؤ لنشاط الاستمالة الاجتماعية الذي يُمارَس على نطاق واسع[19]. فإذا كنت أحد قرَدة الشمبانزي، سيكون سبيلك إلى عقد الصداقات وتأسيس التحالفات هو التقاط القمل وبقايا الجلد وغيرها من الفتات بعناية من فراء أفراد الشمبانزي الآخرين في مجتمعك. وقد يرد بعض أعضاء مجموعتك المقرَّبة الجميل، في حين أن أولئك الذين يحتلون مكانة أعلى سيلاحظون خدماتك، ولكنهم سيتركون الصئبان (بيض القمل) في فرائك كما هي. إن طقس الاستمالة نشاط تنظيمي، يعزز ويحافظ على التسلسل الهرمي للمجموعة والعُصَب والتحالفات. من الممكن أن يكون البشر الأوائل قد انخرطوا في طقوس استمالة اجتماعية مماثلة، ولكن مع نمو أحجام المجموعة كان من شأن الاهتمام بخدمة العلاقات أن يتطلب استثمارًا مرهقًا للوقت. إن الصداقات والاقتران والعلاقات أمورًا حيوية، ولكن من الحيوي كذلك وجود ما يكفي من الطعام لتناوله. ما الذي ينبغي فعله؟ حسنًا، يقول دنبار إن هذه المعضلة ربما أدت إلى نشأة اللغة. ففي مرحلة ما، ربما يكون أسلافنا قد استعاضوا عن طقوس الاستمالة اليدوية بالحوار اللفظي، وهو ما مكنهم من مشاركة المعلومات بسرعة - من يفعل ماذا لمن، ومن يخادع، ومن يشارك في مؤامرة تخريبية، وما إلى ذلك - وبهذا حلت دقائق من تبادل القيل والقال محل ساعات من التقاط القمل. وقد أظهرت الدراسات الحديثة أن ما يصل إلى 60 في المائة من محادثتنا اليوم مكرس للنميمة، وهو رقم مذهل (خاصة لأولئك الذين نادرًا ما أتقنوا الحوارات القصيرة منّا)، إلى درجة أن بعض الباحثين ذهبوا إلى أنه يعكس الغرض الأساسي للغة في بدايتها[20].

يوسِّع عالم اللغويات دانيال دور الدور الاجتماعي للغة بدرجة أكبر. ويقترح، عبر تحليل مُقنِع وواسع النطاق، أن اللغة هي أداة مبنية بشكل جماعي ذات وظيفة محددة وشديدة الأهمية وهي: منح الأفراد القدرة على توجيه خيال بعضهم البعض[21]. قبل ظهور اللغة كانت تبادلاتنا الاجتماعية واقعة تحت هيمنة خبراتنا المشتركة. فإذا رأى كلانا شيئًا أو سمعناه أو تذوَّقناه، فيمكننا الإشارة إليه بالإيماءات أو الأصوات أو الصور. ولكن من الصعب التواصل حول الخبرات التي لم نتشاركها، فضلًا عن التحدي الثقيل المتمثّل في توصيل الأفكار المجردة والأحاسيس الداخلية. لكن بفضل

اللغة تجاوزنا هذه التحديات. ومع اللغة تضخمت سوق التبادلات الاجتماعية بشكل كبير: إذ يمكنك استخدام اللغة لوصف خبرات ربما لم أمرّ بها قط، ومن خلال الكلمات يمكنك استحضارها في ذهني. ويمكنني أن أفعل الشيء نفسه لك. وعلى مدى آلاف السنين، بينما صارت رفاهية أسلافنا السابقين على استخدام اللغة أكثر اعتمادًا على العمل الجماعي المنسق -الصيد التعاوني لفرائس كبيرة، وإشعال حرائق خاضعة للسيطرة، والطبخ لمجموعات كبيرة، والرعاية والتعليم المشتركين للصغار[22]- فإن أسلافنا كسروا حاجز التبادل غير اللفظي، وجاءوا باللغة إلى العالم، وأسسوا ساحة اجتماعية مُعزَّزة بدرجة كبيرة لا تضم خبراتنا المشتركة وحسب، وإنما تضم أفكارنا المشتركة أيضًا.

تؤكّد هذه المُقترحات، وجُلّ المقترحات الأخرى المتعلّقة بنشأة اللغة، على الكلمة المنطوقة، ذلك التجسيد الخارجي للغة. ويغير تشومسكي، بطريقته الأيقونية المميزة، اتجاه الأمر تغييرًا جذريًا؛ إذ يقترح أن اللغة في صورتها المجسَّدة الأولى ربما تكون قد سهّلت التفكير الداخلي[23]. فما المعالجة والتخطيط والتنبؤ والتقييم والتفكير والفهم ألّا بعض المهمّات الأساسية التي استطاع الصوت الداخلي الذي تردّد بين آذان أسلافنا تحقيقها في ثقة بمجرد أن استطاع التفكير الاستفادة من اللغة. ووفق هذا الرأي فقد كانت اللغة المنطوقة تطورًا لاحقًا، مثل إضافة مكبرات الصوت إلى نماذج أجهزة الحاسوب الشخصي المبكرة. ويبدو أنه قبل أن يتمكّن أسلافنا من الكلام فإنهم كانوا من النوع العميق والصامت، إذ يتفكرون جيدًا في مهمّاتهم اليومية ولكنهم يحتفظون بتأملاتهم لأنفسهم. يثير موقف تشومسكي الجدل. وقد أشار الباحثون إلى السمات الفطرية للغة التي تبدو مُصمَّمة لرسم خرائط المفاهيم الداخلية للكلمة المنطوقة (ولا سيما علم الصوتيات والكثير من البنية النحوية)، وهو ما يشير إلى أن اللغة كانت مرتبطة منذ بدايتها بالتواصل الخارجي.

وعلى الرغم من أن أصل اللغة يظل غامضًا، فالأمر الذي لا خلاف عليه، والوثيق الصلة بموضوعنا بينما نواصل التقدم، هو أن اللغة والتفكير يعتبران مزيجًا قويًا. وسواء أسبقت نسخة داخلية من اللغة النطقَ الخارجي أم لا، وسواء أكان هذا النطق مدفوعًا بالأغنيات، أو رعاية الرضَّع، أو الإيماءات، أو تبادل القيل والقال، أو الحوار الجماعي، أو امتلاك دماغ كبير، أو شيء آخر مختلف تمامًا، فبمجرد أن امتلك العقل البشري اللغة، صارت علاقة نوعنا بالواقع مهيأة إلى التعرض لتغيير جذري.

وهذا التغيير اعتمد على واحد من أكثر السلوكيات البشرية انتشارًا وتأثيرًا: رواية القصص.

كان جورج سميث في عجلة من أمره. وأخذت أصابع يده اليمنى تنقر بلطف ولكن بإصرار على الحد المطعَّم بالأبنوس للطاولة الطويلة المصنوعة من خشب الماهوجني. كان قد علم للتو أن روبرت ريدي، مرمّم الأحجار الرئيسي في المتحف، لن يعود قبل عدة أيام. عدة *أيام*. كيف يمكنه الانتظار؟ فعلى مدار ثلاث سنوات، كان يسرع بارتداء معطفه، ويمسك شطيرة الزبدة والمربى المصنوعة بعناية، ويتفادى الحشود والعربات بينما يشق طريقه مسرعًا إلى المتحف البريطاني، حيث كان يقضي الدقائق المتبقية من استراحة الغداء يحدّق في شظايا الألواح الطينية المتصلّبة المُستخرَجَة من موقع أثري في مدينة نينوى. كانت عائلته فقيرة، وقد ترك المدرسة في سن الرابعة عشرة كي يعمل نقّاشًا متدربًا في أحد المصارف. بدا أفقه محدودًا. لكن جورج كان عبقريًّا. وقد علّم نفسه اللغة الآشورية القديمة، وأصبح خبيرًا في قراءة الكتابة المسمارية. وأدرك أمناء المتحف، الذين أحبوا الطفل الغريب الذي يتسكّع هناك وقت الظهيرة، أنه أمهر في فك رموز المنحوتات المسمارية من أيٍ منهم، ومن ثم قاموا بتعيين جورج موظّفًا بدوام كامل. والآن، بعد بضع سنوات، انتهى جورج من غربلة الآلاف من قطع الطين بهدف تجميع أول لوح كامل وفك شفرة جزء كبير منه بالفعل. لقد وجد، أو يعتقد أنه وجد، سرًّا رائعًا باحت به سلسلة من القطوع المثلثية الشكل والأوتاد -إشارة إلى أسطورة طوفان تسبق قصة نوح الواردة في العهد القديم- لكنه كان بحاجة إلى روبرت ريدي لكشط طبقة قشرة تحجب قسمًا أساسيًّا من النص. كان باستطاعة جورج أن يتذوّق النصر. وكان يرتجف وهو يتخيل الاكتشاف وهو يرفعه إلى حياة جديدة. لم يستطع جورج السيطرة على نفسه، وقرر المخاطرة بكشط اللوح بنفسه.

حسنًا، لقد بالغتُ في الأمر. فقد انتظر جورج سميث الحقيقي. وبعد أيام عاد روبرت ريدي وحشد مهاراته، وبهذا تم الكشف عن أقدم قصص جنسنا المسجَلة، ملحمة جلجامش التي تعود إلى حضارة بلاد الرافدين، والتي تم تأليفها في الألفية الثالثة قبل الميلاد. إن عملية إعادة السرد الحرّة التي قمتُ بها تفعل ما فعله رواة القصص -نحن البشر- منذ فترة طويلة: إعادة صياغة الواقع (ما هو معروف عن جورج سميث التاريخي[24])، أحيانًا بصورة معتدلة (كما هو الحال هنا)، وأحيانًا بقوة، وأحيانًا بصورة درامية شديدة، وأحيانًا من أجل الأجيال القادمة، وأحيانًا بهدف المتعة الخالصة المتمثّلة في نسج قصة جيدة. إن الدافع الفني لأولئك الذين كتبوا جلجامش، وهي حكاية تشكلت على الأرجح بواسطة أصوات عديدة على مر العديد من الأجيال، غير معروف. لكن في هذه القصة المليئة بالمعارك والأحلام، بالغطرسة والغيرة، وبالفساد والبراءة، تتحدّث إلينا الشخصيات وشواغلها بوضوح عبر آلاف السنين.

وهذا، في حقيقة الأمر، هو ما يلفت النظر. فخلال الأعوام الخمسة آلاف التي انقضت منذ أن وُضعَت ملحمة جلجامش، شهد التاريخ تحولًا تلو الآخر في الكيفية التي نتناول بها الطعام ونبني المأوى، وفي كيفية المعيشة والتواصل، والتداوي والتناسل، ومع ذلك فإننا نتعرّف فورًا على أنفسنا في السرد المتكشّف أمامنا. لقد شرع جلجامش ورفيق سلاحه إنكيدو في خوض رحلة من شأنها أن تختبر شجاعتهما، وأخلاقهما، وفي نهاية المطاف إحساسهما الحقيقي بذاتهما؛ وكأنها نسخة العصر الحجري الحديث من فيلم «ثيلما ولويز». وفي وقت لاحق من الرحلة، ينحني جلجامش فوق جثمان إنكيدو المتوفى، ويرثوه بعبارات مؤلمة ولكن مألوفة تمامًا: «لقد غطى وجه صديقه، كالعروس، مثل نسر يحوم حوله. ومثل لبؤة حُرمَت من أشبالها، أخذ يذرع المكان جيئة وذهابًا، في هذا الاتجاه وذاك. ومزق [شعره] المجعد في كتل، ونزع حليه، وطوّحها بعيدًا [وكأنها] من المحرَّمات»[25]. كنت أعرف هذا الشعور، مثل كثيرين غيري. فقبل عقود، أخذت أندفع من غرفة إلى أخرى في شقتي الصغيرة، من دون أن أعرف إلى أين أتجه، وكنت أسعى بشكل محموم إلى الهروب من نبأ الوفاة المفاجئة لوالدي. وحتى على مسافة مئات الأجيال، إن لم يكن الآلاف، هناك الكثير الذي نتشاركه مع أسلافنا.

ليس الأمر فقط أننا، نحن البشر، نحزن ونرثو، ونبتهج ونسعد، ونستكشف ونتساءل باستمرار. فنحن نتشارك أيضًا في الرغبة الشديدة في التعبير عن كل هذا ومعالجة كل هذا من خلال القصة. ربما تكون جلجامش أقدم قصة مكتوبة لا تزال موجودة، ولكن إذا كان نوعنا يكتب القصص قبل خمسة آلاف عام، فمن المؤكد أننا كنا نروي القصص قبل ذلك بوقت طويل. فهذا ما نفعله، وما فعلناه لفترة طويلة. والسؤال هو: لماذا؟ لماذا نمتنع عن صيد المزيد من ثيران البيسون أو الخنازير، أو جمع المزيد من الجذور والفاكهة، كي نقضي الوقت في تخيل مغامرات مع آلهة نزقين أو خوض رحلات إلى عوالم خيالية؟

قد تجيب: لأننا نحب القصة. نعم، هذا أكيد. فلماذا إذًا نذهب إلى السينما على الرغم من ضرورة تسليم ذلك التقرير غدًا؟ ولماذا ينتابنا شعور بالمتعة المخلوطة بالذنب عندما ننحّي «العمل الحقيقي» جانبًا ونواصل قراءة تلك الرواية أو مشاهدة ذلك المسلسل؟ غير أن هذه هي بداية التفسير، لا النهاية. لماذا نأكل المثلجات؟ لأننا نحب المثلجات؟ نعم، بالتأكيد. ولكن وفق ما ذهب إليه علماء النفس التطوري من رأي مُقنع فإن التحليل يمكن أن يمضي إلى ما هو أعمق من هذا[26].

إن أسلافنا الذين استمتعوا بالتهام المصادر الغنية بالطاقة مثل الفاكهة اللحمية والمكسرات الناضجة استطاعوا أن يتأقلموا بشكل أفضل مع الأيام العجاف، وبذا

أنتجوا مزيدًا من النسل ونشروا وَلَعَنَا الجيني بالحلوى والدهون. غير أن الولع الشديد اليوم بمثلجات هاجن داز بطعم الفستق لم يعد يُحتفى به باعتباره أمرًا معززًا للصحة، بل هو بقايا حديثة لعملية حصد السعرات الحرارية في الماضي. إنه الانتخاب الدارويني متجسدًا على مستوى المَيل السلوكي. لا يعني ذلك أن الجينات تحدِّد السلوك. فأفعالنا ناتجة عن مزيج معقّد من التأثيرات البيولوجية والتاريخية والاجتماعية والثقافية وجميع أشكال التأثيرات العارضة المطبوعة على ترتيب الجُسَيْمات لدينا. بيد أن أذواقنا وغرائزنا جزءٌ أساسيٌّ من هذا المزيج، ولعب التطور دورًا قويًّا في تشكيلها في سبيل تحسين قدرتنا على البقاء. بإمكاننا تعلم حيَل جديدة، ولكن من الناحية الجينية ومن ثم من الناحية الغريزية، ما نحن إلّا كلاب مسنّة تجد صعوبة في التعلم.

السؤال، إذًا، هو ما إذا كان بإمكان التطور الدارويني أن يلقي الضوء على أذواقنا الأدبية، وليس فقط شهيتنا نحو الطعام. لماذا انجذب أسلافنا إلى إنفاق موارد ثمينة من الوقت والطاقة والاهتمام على سرد القصص، وهو الأمر الذي لا يبدو، من الوهلة الأولى، أنه يعزّز فرص بقائنا؟ إن القصص الخيالية محيرة بشكل خاص. فما النفع التطوّري الذي يمكن أن ينشأ من متابعة مآثر شخصيات خيالية تواجه تحدّيات وهمية في عوالم لا وجود لها؟ فالتطور يتسم بفاعلية كبيرة في تحاشي الميول السلوكية المفرطة خلال مسيرته العشوائية التي لا هوادة فيها عبر المشهد التكيفي. ومن شأن أي طفرة جينية أن تبعدنا عن غريزة رواية القصص، وبذا توفّر لنا الوقت لشحذ بضع حراب إضافية، أو التهام اللحم من جيفتيْ جاموستين إضافيتين، أن تمنحنا مزية بقاء، وستسود بمرور الوقت. غير أن هذا لم يحدث. أو لعل التطوّر غفل عن هذه الفرصة لسبب أو آخر.

حاول الباحثون فهم السبب، غير أن الأدلة شحيحة. فهناك أدلة قليلة للغاية تثبت شيوع أو نفع رواية القصص لدى أسلافنا على مدار آلاف الأجيال الماضية. وهذا يسلط الضوء على التحدّي العام الذي تواجهه الأبحاث التي تنشد العثور على أساس تطوري للسلوك، وهو التحدّي الذي سنواجهه في أشكال مختلفة في الفصول التالية. فمن منظور الانتخاب الطبيعي، ما يهم هو تأثير هذا السلوك أو ذاك على فرص البقاء والتكاثر لأسلافنا خلال السواد الأعظم من تاريخهم. ومن ثَم يتطلّب السرد الجدير بالثقة فهمًا دقيقًا للعقلية القديمة خلال تفاعلها مع بيئة الأسلاف. غير أن التاريخ المسجل لا يوفر معلومات إلّا عن الربع الأخير من نسبة 1 بالمائة من المليوني عام تقريبًا التي تفصلنا عن أولى الهجرات البشرية خارج إفريقيا. وقد ابتكر الباحثون طرائق غير مباشرة لدراية الماضي، بما في ذلك الفحص التفصيلي للقطع الأثرية القديمة، واستقراء التحليلات الإثنوغرافية لمجموعات الصيادين وجامعي الثمار المتبقية اليوم، ودراسات بنية الدماغ

بحثًا عن أصداء معرفية للتحديات التكيّفية القديمة. وهذه الأدلة المتشظّية تقيّد عملية التنظير، لكنها تسمح مع ذلك بطرح مجموعة متنوعة من المنظورات.

يذهب أحد هذه المنظورات إلى أن البحث عن دور تكيّفي لرواية القصص يعني البحث عن الصلاحية المعزّزة في المكان الخطأ. فأي ميل سلوكي معيّن قد لا يزيد على كونه محض نتاج ثانوي لتحسينات تطورية أخرى عزَّزت البقاء ومن ثم تطوّرت بالطريقة المعتادة عن طريق الانتخاب الطبيعي. والاتجاه العام، الذي تم التشديد عليه بصورة لافتة للانتباه في ورقة بحثية شهيرة لستيفن جاي جولد وريتشارد ليونتين، هو أنه ليس من الممكن انتقاء بعض جوانب التطور[27]. فالتطوّر يقدّم أحيانًا صفقات شاملة وحسب. فالأدمغة البشرية الكبيرة ذات الخلايا البيضاء والرمادية، والعامرة بالخلايا العصبية المتصلة بكثافة، مفيدة للغاية من أجل البقاء، لكن ربما يوجد شيء جوهري في تصميمها يضمن استمتاعها بالقصص. فكّر، مثلًا، في أن نجاحنا ككائنات اجتماعية يعتمد جزئيًا على امتلاك معلومات جيدة؛ بشأن مَنْ الأعلى مكانة، ومَنْ الأدنى مكانة، ومَنْ القوي، ومن الضعيف، ومَنْ الجدير بالثقة. ونظرًا للفائدة التكيّفية لمثل هذه المعلومات، فإننا نميل إلى الانتباه عند توفّرها. وعندما نمتلك مثل هذه المعلومات ليس من الغريب مشاركتها مع الغير في مقابل تحسين مكانتنا الاجتماعية. ونظرًا إلى أن الأدب الخيالي مليء بمعلومات من هذا النوع، فربما تكون عقولنا التي شكّلها التكيف مهيأة للانتباه، والاستماع والتكرار، حتى وإن كان السرد خياليًا. ونتيجة لذلك سيسعد الانتخاب الطبيعي كلما صارت الأدمغة أكثر مهارة في الحياة الاجتماعية بينما يغض الطرف عن هوسها برواية القصص.

هل اقتنعت؟ يرى كثيرون - وأُعِدُّ نفسي ضمن هذه المجموعة - أن من غير المعقول أن يصير الدماغ حبيس سلوك شديد التغلغل، ومركزي بمعنى الكلمة، ولكنه غير ذي صلة بالتكيف، وذلك على الرغم من كل ما يمتلكه من قدرة على الابتكار. فربما تكون جوانب خبرة رواية القصص جزءًا من صفقة تطوّرية شاملة، ولكن إذا كانت رواية القصص والاستماع إليها، ثم روايتها مجدّدًا لا تتجاوز كونها ثرثرة جانبية، لنا أن نتوقع أن يجد التطوّر طريقة للتخلص من هذا الجانب العارض المُهدِر للموارد. كيف إذًا يمكن لرواية القصص أن تكتسب مكانتها التكيّفية؟

عند محاولة البحث عن إجابة، من السهل للغاية أن ننسب، إلى العديد من السلوكيات، أدوارًا تكيفية بعد أن توجد بالفعل. ونظرًا إلى أننا لا نستطيع اختبار مثل هذه الاقتراحات من خلال إعادة مشاهدة العملية التطورية وهي تتكشّف، فهناك خطر يتمثّل في أن تتحوّل هذه الاقتراحات إلى مجموعة من القصص غير القابلة للاختبار.

إن المُقترحات الأشد إقناعًا هي تلك التي تبدأ بتحدّي تكيّفي معيّن -تحدٍّ إذا جرى التغلب عليه فمن شأنه أن يؤدي إلى نجاح تكاثري أكبر- وتذهب إلى أن ثمة سلوكًا معيّنًا (أو مجموعة من السلوكيات) مصمّمًا جيدًا بشكل جوهري من أجل مواجهة هذا التحدّي. ومن أمثلة ذلك التفسير الدارويني لمَيْلنا إلى تناول الحلوى. يحتاج البشر إلى حدٍّ أدنى من السعرات الحرارية للبقاء على قيد الحياة والتكاثر. وفي مواجهة احتمال حدوث نقص مدمّر في السعرات الحرارية المُتناولة، يكون لتفضيل الأطعمة المليئة بالسكريات قيمة تكيّفية واضحة. وإذا قمت بتصميم الدماغ البشري، وأنت واعٍ للاحتياجات الفيسيولوجية لجسم الإنسان وطبيعة بيئة الأسلاف، فمن السهل تصورُ أنك ستبرمج الدماغ البشري بحيث يشجّع الجسم على تناول الفاكهة كلما كان ذلك متاحًا. وبذا لا يُعد وصول الانتخاب الطبيعي إلى هذه الاستراتيجية المحدّدة أمرًا مفاجئًا على الإطلاق. وثمة خلاف دائر حول ما إذا كانت هناك اعتبارات تكيّفية مماثلة قد تقودك إلى برمجة العقل البشري بحيث يختلق القصص ويرويها، ويستمع إليها.

الاعتبارات موجودة بالفعل. فربما تكون رواية القصص هي طريقة العقل في التدرب على التعامل مع العالم الحقيقي، أي نسخة دماغية من الأنشطة المرحة التي تم توثيقها لدى أنواع عديدة والتي توفر وسيلة آمنة لممارسة المهارات الأساسية وصقلها. ويصف ستيفن بينكر، عالم النفس الرائد والرجل الذي درس العقل دراسة شاملة، نسخة شديدة البساطة من هذه الفكرة قائلًا: «الحياة مثل الشطرنج، والحبكات القصصية تماثل تلك الكتب التي تضم مباريات الشطرنج الشهيرة والتي يدرسها اللاعبون الجادّون كي يكونوا مستعدين إذا وجدوا أنفسهم في مواقف مشابهة»[28]. يتصوّر بينكر أننا نقوم، من خلال القصة، ببناء «فهرس عقلي» للاستجابات الاستراتيجية تجاه الحوادث غير المتوقّعة التي تلقيها الحياة في طريقنا، ويمكننا الرجوع إلى هذه الاستجابات لاحقًا عند الحاجة لذلك. لقد واجه أسلافنا عقبة تلو الأخرى، من صَدّ رجال القبائل المخادعين إلى استمالة شركاء التزاوج المحتملين، وتنظيم عمليات الصيد الجماعية، وتجنّب النباتات السامّة، وتعليم الشباب، وتوزيع إمدادات الغذاء الشحيحة، وما إلى ذلك من أمور، وذلك في خضم سعي جيناتهم إلى التواجد في الأجيال اللاحقة. وكان من شأن الانغماس في الحكايات الخيالية التي تتناول مجموعة متنوعة من التحديات المماثلة أن يحسّن استراتيجيات أسلافنا واستجاباتهم. ومن ثَم ستكون برمجة الدماغ للتفاعل مع الأدب القصصي طريقة ذكية لمنح العقل قاعدة أوسع من الخبرة للعمل من خلالها، وذلك بتكلفة زهيدة وبشكل آمن وكفؤ.

رفض بعض الباحثين الأدبيين ذلك الرأي، مشيرين إلى أن الاستراتيجيات التي

تتبعها الشخصيات الخيالية التي تواجه تحديات وهمية ليست قابلة للنقل، بشكل عام، إلى الحياة الواقعية، أو على الأقل لا يُنصَح بذلك[29]. ويلخص جوناثان جوتشال هذا النقد قائلًا: «ربما ينتهي بك الحال إلى الركض من مكان إلى آخر مثل دون كيخوته المجنون أو إيما بوفاري الواقعة تحت تأثير ضلالات مأساوية؛ وكلاهما يفقدان الصواب نتيجة الخلط بين الخيال الأدبي والواقع»[30]. بطبيعة الحال، لم يكن بينكر يقترح علينا أن نحاكي الأفعال التي نصادفها في القصص وإنما كان يعني أننا نتعلم منها؛ وهو نهج، كما يرى جوتشال، ربما يمكن توصيله على نحو أوفى من خلال تغيير بسيط في الصورة البلاغية إلى تلك التي قدّمها عالم النفس والروائي كيث أوتلي[31]: فبدلًا من الملف العقلي، فكّر في محاكاة الطيران. تقدّم القصص عوالم مُختلقَة نتغافل فيها عن الشخصيات التي تتجاوز خبراتها نطاق خبراتنا بفارق كبير. وعبر أعين مُستعارة محمية بالزجاج المُقَسَّى للقصة، نرصد عن كثب وفرة من العوالم الغريبة. ومن خلال حلقات المحاكاة هذه يتوسّع حدسنا ويُصقَل، وهو ما يجعله أشد اتقادًا ومرونة. وعندما نواجه ما هو غير مألوف، فإننا لا نبدأ عمليات بحث معرفية نحاول الحصول منها على الإرشاد من العقل بنفس الصورة التي نستشير بها عمود النصائح «عزيزتي آبي». وبدلًا من ذلك فإننا نحصل، من خلال القصة، على إحساس أدق بشأن الكيفية التي نستجيب بها وأسبابها، وتلك المعرفة الجوهرية ترشد سلوكنا المستقبلي. إن إنماء إحساس فطري بالعاطفة البطولية بعيد كل البعد عن محاربة طواحين الهواء، وكان هذا هو الدرس المستفاد الذي خرجت به، وكثيرون غيري، عند الانتهاء من آخر صفحة في مغامرات ألونسو كيخانو.

في ضوء استخدام محاكي الطيران كمجاز للفائدة التكيفية لرواية القصص، كيف لنا أن نبرمج المحاكي نفسه؟ ما هي أنواع القصص التي سنجعله يعرضها؟ يمكننا أخذ الإجابة من الصفحة الأولى لمنهج أساسيات الكتابة الإبداعية. من الحقائق البديهية لرواية القصة الحاجة إلى الصراع. الحاجة إلى الصعوبة. الحاجة إلى المتاعب. فما يجذبنا هو سعي الشخصيات إلى تحقيق نتائج تتطلب إزالة العقبات الغادرة، الخارجية والداخلية. وتجعلنا رحلاتهم، الحَرفية والرمزية، في حالة من الترقّب الشديد أو نلتهم الصفحات التهامًا. من المؤكد أن أشد القصص جاذبية تستخدم مقاربات مفاجئة ومسلّية وحتى مثيرة للإعجاب للشخصيات والحبكة وتقنية السرد نفسها، ولكن في رأي الكثيرين إذا لم يكن هناك صراع فستتداعى القصّة. ليس من قبيل المصادفة أن الأمر نفسه ينطبق على الفائدة الداروينية للمحتوى الذي يشغله محاكي الطيران السردي. فمن دون صراع، أو صعوبات، أو متاعب، ستتلاشى القيمة التكيفية للقصّة أيضًا. فإذا كان

جوزيف ك مستعدًّا للاعتراف بجريمة غير محدَّدة، وقبول العقاب غير المبرَّر، لانتهينا من قراءة الرواية بسرعة(1). ومن دون أي تعديلات سردية أخرى، لن تحقّق الرواية أي تأثير. وينطبق الأمر نفسه على متابعة قصة دوروثي التي تتخلّى عن الحذاء الياقوتي في مرح، وتبتعد عن طريق الطوب الأصفر، وتصير جزءًا من مونشكينلاند**(2). فالسماوات الصافية، والمحرّكات المثالية، والركاب النموذجيون ليست جوانب المحاكاة التي تحسّن استعداد الطيار. إن فائدة التدرب على العالم الحقيقي هي مواجهة مواقف سيكون من الصعب الاستجابة لها من دون استعداد مسبَق.

ربما يلقي هذا المنظور للقصة الضوء أيضًا على سبب قضائنا، أنت وأنا والجميع، بضع ساعات كل يوم في اختلاق حكايات ينذُر أن نتذكّرها بل ويندُر بدرجة أكبر أن نحكيها للآخرين. وكل يوم أعني كل ليلة، وأعني بالحكايات الأحلام التي ننتجها أثناء نوم حركة العين السريعة. فبعد مرور أكثر من قرن على كتاب فرويد «تفسير الأحلام»، لا يوجد حتى الآن إجماع حول الأسباب التي تجعلنا نحلم. قرأت كتاب فرويد في أحد مقررات المدرسة الثانوية وكان يُسمى «النظافة» (نعم، هذا ما كان يسمى حقًا)، وكان مقرّرًا إلزاميًا غريبًا يقوم بتدريسه معلّمو التربية البدنية والمدربون الرياضيون، ويركز على الإسعافات الأولية والمعايير العامة للنظافة. ونظرًا إلى عدم وجود مواد كافية لملء فصل دراسي كامل، كان المقرر مليئًا بالعروض التقديمية الإلزامية للطلاب حول مواضيع بعيدة الصلة عن موضوعه. اخترت النوم والأحلام، وربما أكون قد بالغت في أخذ الأمر على محمل الجد، حيث قرأت فرويد وقضيت ساعات ما بعد المدرسة في تمشيط الأدبيات البحثية. كان ما أثار ذهولي، وذهول زملائي أيضًا، هي دراسات ميشيل جوفيت، الذي استكتشف في أواخر خمسينيات القرن العشرين عالم أحلام القطط[32]. فمن خلال إتلاف جزء من دماغ القطة (الموضع الأزرق، إذا كنت تحب معرفة مثل هذه المعلومات)، أزال جوفيت كتلة عصبية تمنع عادة أفكار الأحلام من تحفيز الحركة الجسدية، ونتيجة لهذا كانت القطط النائمة تنحني وتتقوّس وتهسهس وتحرّك قوائمها، استجابةً إلى حيوانات مفترسة وفرائس مُتخيَّلة. وإذا لم تكن تعلم أن القطط نائمة، ربما كنت ستظن انها تمارس نوعًا من حركات الكاتا الخاصّة بالقطط. ومؤخرًا، أظهرت الدراسات التي أجريت على الفئران باستخدام مسبارات عصبية أكثر تقدّمًا، أن أنماط أدمغتها عند الحلم تتطابق بشكل وثيق مع تلك المسجّلة عند اليقظة

(1) رواية «المحاكمة» من تأليف فرانتس كافكا (المترجم).
(2) رواية «ساحر أوز العجيب» من تأليف ليمان فرانك بوم (المترجم).

وتعلم متاهة جديدة بحيث يستطيع الباحثون تتبع تقدّم عقل الفأر الذي يحلم خلال إعادة تتبع خطواته السابقة[33]. فعندما تحلم القطط والفئران، يبدو بالتأكيد أنها تتدرّب على سلوكيات ذات صلة بالبقاء.

عاش سلَفنا المشترك مع القطط والقوارض منذ نحو سبعين أو ثمانين مليون عام مضت، لذا فإن استقراء نتيجة تخمينية من أنواع تفصل بينها عشرات آلاف الأعوام يستدعي الحذر الشديد. ولكن يمكن للمرء أن يتخيّل أن عقولنا التي تهيمن عليها اللغة ربما تنتج الأحلام لغرض مماثل: من أجل توفير التدريبات المعرفيّة والعاطفيّة التي تعزّز المعرفة وتمرين الحدس؛ أي إنها عبارة عن جلسات ليلية للتدرب على محاكي الطيران الخاص بالقصص. وربما لهذا السبب نقضي جميعنا، في فترة العمر النموذجية، سبع سنوات كاملة بأعين مغلقة وأجسام مشلولة، منغمسين في حكاياتنا التي تؤلّفها عقولنا[34].

غير أن رواية القصص، في جوهرها، ليست وسيطًا فرديًا. فرواية القصص هي أقوى وسائلنا للدخول إلى عقول الآخرين. وبوصفنا نوعًا اجتماعيًا بدرجة كبيرة، ربما كانت القدرة على الانتقال مؤقتًا إلى عقل شخص آخر ضرورية لبقائنا وهيمنتنا. ويقدّم هذا سببًا منطقيًا من منظور التصميم لتضمين القصة في السلوك البشري، أي للتعرّف على الفائدة التكيفية لغريزة رواية القصص لدينا.

رواية القصص والعقول الأخرى

تتضمّن لغة الحوار المهني بين الفيزيائيين عمومًا مصطلحات خاصة يُعبَّرُ عنها عبر مجموعة متنوّعة من المعادلات. ليست هذه هي نوعية مادة الحوار التي تجذب انتباه المتحلّقين حول نار المخيم. ومع ذلك فإذا كنت تعرف كيف تقرأ المعادلات وتفسر المصطلحات، فإن القصص التي ترويها قد تكون مثيرة بحق. في نوفمبر العام 1915، عندما كان ألبرت أينشتاين المنهك، والموشك إكمال النظرية النسبية العامة، يكدّس المعادلات لتفسير اللغز طويل الأمد لمدار عطارد الذي يحيد قليلًا عن التنبوءات النيوتونية، كان يشعر بتأثر بالغ لدرجة أنه شعر باضطراب في دقات القلب. لقد كان يبحر عبر المياه الغادرة للرياضيات المعقَّدة لنحو عقد من الزمن، وكانت نتيجة هذه الحسابات أشبه برؤية اليابسة للمرة الأولى. وفي إعادة صياغة لوصف ألفريد نورث وايتهيد اللاحق نقول إن هذا يعني أن مهمة أينشتاين الجريئة قد وصلت بأمان إلى شواطئ الفهم[35].

لم يسبق لي أن حققتُ اكتشافًا بهذه الضخامة. وقلّة قليلة من الأشخاص حققوا

ذلك. لكن حتى الاكتشافات المتواضعة من الممكن أن تسبب شعورًا مماثلًا بالإثارة تسبب اختلاجَ القلب. في تلك اللحظات يغمر المرء شعورٌ بوجود رابط عميق مع الكون. وهذا، حقًا، هو ما تدور حوله القصص المُتضمَّنة في الرياضيات المجردة واللغة المتخصّصة. تقدّم القصص سردًا حميميًا لقصة الكون، أو لشيء ما داخل الكون، مع مولده، وتقدّمه في السن، وتحوّله. وتوفّر القصص وسيلة لرؤية الكون من منظور لا يمكن الحصول عليه بوسيلة أخرى. وهي تقدم مدخلًا إلى عوالم الواقع التي تعد غير متوقّعة تمامًا، وذلك عن طريق أكثر الأمثلة إشباعًا. ونحن نحصل من خلال الرياضيات، التي أكّدتها التجربة والملاحظة، على إذن بالسفر بالتواصل مع كون غريب وعجيب.

تلعب القصص التي ما برحنا نرويها باللغات الطبيعية منذ آلاف السنين دورًا مشابهًا. فمن خلال القصة نتحرّر من منظورنا الفردي المعتاد، ولفترة قصيرة نسكن العالم بطريقة مختلفة. فنحن نَخبُر العالم من خلال عيون وخيال الراوي. ويعد محاكي الطيران الخاص بالقصة بمنزلة البوابة التي تنقلنا إلى العوالم الخاصة الموجودة داخل عقول القريبين منا. ووفق تعبير جويس كارول أوتس، فإن القراءة «هي الوسيلة الوحيدة التي ننسلّ بها، بشكل لا إرادي، إلى جلد شخص آخر، وصوت شخص آخر، وروح شخص آخر... كي ندخل وعيًا غير معروف لنا»[36]. ومن دون القصة، من شأن الفوارق الدقيقة في العقول الأخرى أن تستغلق علينا مثلما يستغلق علينا العالم المتناهي الصغر من دون المعرفة بميكانيكا الكم.

هل هناك نتيجة تطوّرية لهذه النوعية المميزة من القصة؟ تصوَّر الباحثون ذلك. ووفق هذا التصور فقد سُدنا، بالأساس، لأننا نوع اجتماعي للغاية. فنحن قادرون على العيش والعمل في مجموعات. ليس في وئام تام، ولكن بتعاون كافٍ لقلب حسابات البقاء رأسًا على عقب. وليس العيش في أعداد كبيرة وحده مصدر الأمان، بل الابتكار والمشاركة والتفويض والتعاون بأعداد كبيرة. ويعد التبصّر بالمجموعة المتنوّعة من التجارب البشرية الذي نستقيه من القصص أمرًا ضروريًا لمثل هذه الحياة الجماعية الناجحة. وكما أشار عالم النفس جيروم برونر، «فإننا ننظّم خبراتنا وذاكرتنا للحوادث البشرية بشكل أساسي في شكل سرد»[37]، ودفعه هذا إلى الشك في أن «مثل هذه الحياة الجماعية قد تكون ممكنة من دون قدرتنا البشرية على تنظيم الخبرات ونقلها في شكل سرد قصصي»[38]. فنحن نستكشف، من خلال السرد، نطاق السلوك البشري، من التوقعات المجتمعية إلى التجاوزات الشائنة. ونحن نشهد طيفَ الدوافع البشرية الواسع، من الطموح النبيل إلى الوحشية البغيضة. ونواجه نطاق الشخصية البشرية من النصر المظفّر إلى الخسارة المفجعة. وكما أكد الباحث الأدبي برايان بويد، فإن

الروايات تجعل «المشهد الاجتماعي أكثر قابلية للإبحار، وأكثر اتساعًا، وأكثر انفتاحًا للاحتمالات»، وهو ما يغرس فينا «التوق إلى فهم عالمنا، ليس فقط من منظور خبراتنا المباشرة، ولكن من خلال خبرات الآخرين، وليس فقط الآخرين الحقيقيين»[39]. وسواء أكانت السرديات مرويّة من خلال الأساطير أو القصص أو الحكايات الخيالية أو حتى الرواية المزخرفة للحوادث اليومية، فإنها تظلّ جزءًا محوريًّا من طبيعتنا الاجتماعية. فنحن نتواصل مع العوالم الأخرى عن طريق الرياضيات، ونتواصل مع العقول الأخرى عن طريق القصص.

عندما كنتُ طفلًا، كثيرًا ما كنت أشاهد مسلسل «ستار تريك» الأصلي مع والدي، وكرّرت هذا التقليد مع ابني. إن الحكايات الأخلاقية وأوبرا الفضاء[1] جذابة للغاية في نظر أولئك الذين يستمتعون بالاستكشافات البطولية المقدّمة مصحوبة بجرعات من التأمل الفلسفي. وتعرض واحدة من أكثر الحلقات إثارة، بعنوان «دارموك»، من المسلسل الفرعي «الجيل القادم»، دورًا استثنائيًا للقصة في تشكيل الحضارة. إن التاماريين، وهم جنس فضائي يشبه البشر، يتواصلون فقط من خلال المجاز، ولذا فإن استخدام الكابتن بيكارد المباشر للغة يثير حيرتهم بقدر ما تثير حيرته إشارتهم المستمرة إلى مجموعة وفيرة من القصص غير المألوفة. وأخيرًا يفهم بيكارد وجهة نظرهم القائمة على الحكايات الرمزية، ويتمكّن من التقريب بين النوعين عن طريق سرد ملحمة جلجامش.

بالنسبة إلى التاماريين تكون أنماط الحياة والمجتمع مطبوعة في مجموعة من القصص المشتركة. ليس قالبنا العقلي ضيّقًا بهذه الدرجة، ومع ذلك فإن السرد أحد المخطّطات المفاهيمية الأساسية لدينا. ويرى عالم الأنثروبولوجيا جون توبي وعالمة النفس ليدا كوزميدس، وهما من رواد علم النفس التطوري، أننا: «تطوّرنا منذ وقت ليس ببعيد من كائنات حيّة كان مصدرها الوحيد للمعلومات (غير الفطرية) هو الخبرة الفردية الخاصة»[40]. إن الخبرة تقدّم المعلومات في حِزَم تشبه القصص، سواء أكانت هذه الخبرة تتمثل في منافسة حشد يمكن أن يملأ حلبة تايمز سكوير اليوم، أو تنسيق عملية مطاردة جماعية في سهول أفريقيا في حقبة الحياة الحديثة. وإذا امتلكنا الرؤية الخيالية، الخارقة، الكاشفة للجُسَيْمات التي ذكرتها في الفصل السابق، فربما يكون لحِزَم الخبرة

---

(1) أوبرا الفضاء (space opera) هو نوع فرعي من الخيال العلمي يركز على حروب الفضاء والمغامرات الميلودرامية التي تقع أحداثها بشكل رئيسي أو بشكل كامل في الفضاء الخارجي (المترجم).

طابع مختلف: فربما ننظم أفكارنا وذكرياتنا اعتمادًا على مسارات الجُسَيْمات أو دوال الموجات الكمية. ولكن في حالة الإدراك البشري العادي، يهيمن السرد على الخبرة البشرية، ومن ثم فإن عقولنا متكيفة بحيث ترسم الكون على شكل قصة.

لاحظ، مع ذلك، أن الشكل شيء والمحتوى شيء آخر تمامًا. وفي حين غرست الخبرة فينا انجذابًا نحو بنية القصة، فإننا نستخدم السرد لتنظيم فهمنا جيدًا بما يتجاوز حدود المواجهات البشرية. وتقدّم التطورات العلمية مثالًا واضحًا على ذلك. إن الحكايات التي تتناول أفرادًا انطلقوا بهدف حل الألغاز الكبيرة للواقع والعودة ببعض الرؤى الأشدّ إثارة للدهشة تعد مادة ثرية للأعمال الدرامية والبطولية. غير أن معيار نجاح المحتوى العلمي لهذه القصص بعيد كل البعد عن التدابير التي نستخدمها في رحلاتنا البشرية. وعلّة وجود العلم هي إزاحة الحجاب الذي يخفي الحقيقة الموضوعية، ومن ثَم يجب أن تتّفق السرديات العلمية مع معايير المنطق وأن يجري اختبارها من خلال الفحص التجريبي القابل للتكرار. وهذا هو مصدر قوة العلم وسبب محدوديته في الوقت ذاته. فمن خلال التقيّد الصارم بمعيار يقلّل الذاتية إلى الحد الأدنى، يركز العلم على النتائج التي تسمو فوق أي فرد من الفصيلة. تخبرنا معادلة شرودنجر الكمية الشديدة الأهمية بالكثير عن الإلكترونات -وكم من المثير أن توجد لدينا معادلة توضح بصورة تفصيلية مجيء وذهاب هذه الجُسَيْمات الضعيفة بدقّة أكبر من أي سرد آخر لأي حدث يقع على الكوكب- لكن الرياضيات لا تخبرنا الكثير عن شرودنجر أو عن بقيتنا. وهذا هو الثمن الذيه يدفعه العلم مقابل سردٍ كمّيٍّ ربما يتجاوز في الأهمية نطاق ركننا الصغير من الواقع، وربما يؤثر على كل أرجاء المكان وعبر كل الزمن.

إن القصص التي نحكيها عن مجيء وذهاب الشخصيات، سواء أكانت حقيقية أم خيالية، لها اهتمام مختلف. فهي تسلط الضوء على ثراء وجودنا المقيَّد تمامًا بشكل حتميّ وذاتيّ. وتجسد حكاية أمبروز بيرس التي تحبس الأنفاس، والتي تدور خلال لحظة وجيزة في عملية إعدام عسكرية عند جسر أَول كريك، في إيجاز، ما وصفه إرنست بيكر بأنه «توق داخلي مؤلم إلى الحياة»[41]. ونشهد، من خلال القصّة، نسخةً مُضخمة من ذلك التَوق. وبينما نتخيل بيون فاركوهار المنهك ولكن المبتهج يمدّ يده نحو زوجته، وهو يشتد ويترنّح بشدة بفعل الخناق المشدود حول رقبته، ونهتزّ نحن أيضًا بسبب هروبه المُتَخيَّل، يتشعّب إحساسنا بما يعنيه أن نكون بشرًا. ومن خلال اللغة، تفجّر القصة الحدود التي من شأن خبراتنا المحدودة أن تفرضها. وبينما ترشد الكلمات المختارة ببراعة خيالنا، فإننا نكتسب إحساسًا أعمق بإنسانيتنا المشتركة وفهمًا أدق لكيفية البقاء على قيد الحياة كنوع اجتماعي.

إن الدافع إلى رواية القصص دافع بشري عام، بصرف النظر عما إذا كنا بصدد رواية حقائق أم أدب خيالي، وعما إذا كانت القصص رمزية أم حرفية. فنحن نستوعب العالم عبر حواسنا، وفي خضم السعي وراء الاتساق وتصور الاحتمالات فإننا نبحث عن أنماط، ونبتكر أنماطًا، ونتخيّل أنماطًا. وعن طريق القصة نعبّر عما نجده. إنها عملية مستمرة تمثّل مكوّنًا محوريًّا من الكيفية التي نرتّب بها حياتنا ونفهم الوجود. إن قصص الشخصيات، الواقعية والخيالية، التي تستجيب لمواقف مألوفة وغير عادية، تقدّم عالمًا افتراضيًّا من التفاعل البشري الذي يتغلغل في استجاباتنا ويصقل أفعالنا. وفي وقت ما في المستقبل البعيد، إذا استضفنا أخيرًا زوارًا من عالم بعيد، ستحتوي رواياتنا العلمية على حقائق من المحتمل أنهم قد اكتشفوها أيضًا، وبذًا لن نقدّم الكثير. وكما في حالة بيكارد والتاماريين فسوف تخبرهم رواياتنا البشرية من نحن.

حكايات أسطورية

داخل مجتمع العلماء، تحظى النتائج البحثية بالانتشار عن طريق تفسير البيانات المحيّرة، أو تقديم حلول لمشكلات نظرية شائكة، أو تمكيننا من تحقيق منجزات كانت في السابق بعيدة المنال. وتظلّ الغالبية العظمى من التطورات العلمية من اختصاص الخبراء، لكن ينجح بعضها في التفوق على البعض الآخر ويحقّق تأثيرًا ثقافيًّا واسعَ النطاق. وفي الغالب تتصل هذه التطورات بالاهتمامات الكبرى التي تسمو فوق التفاصيل العلمية الدقيقة: كيف بدأ الكون؟ ما هي طبيعة الزمن؟ هل الفضاء كما يبدو؟ وإذا استوعبتَ إجابات العلم الأدقّ على مثل هذه الأسئلة الكبيرة، فما من شك في أن منظورك للواقع سيتغير. إن إدراكي أننا نعيش على كوكب صغير يدور حول نجم عادي تَشَكّل في أعقاب تضخّم هائل للفضاء البدائي يُرشد تفكيري باستمرار حول الكيفية التي نشكّل بها جزءًا من الصورة الكبرى. وتُعد حقيقة انقضاء الزمن بالنسبة لي بمعدل يختلف عن أي شخص آخر لا يتحرّك معي بدقّة، مذهلة أفكر فيها على الدوام. كما أن احتمالية أن يكون واقعنا الثلاثي الأبعاد مجرد شريحة رقيقة عبر امتداد مكانيّ أكبر لهي احتمالية مثيرة أجد متعةً في تخيلها.

عبر آلاف السنين، أنتجت الثقافات أيضًا قصصًا معيّنة تمكّنت بالمثل من السموّ فوق غيرها وتحقيق تأثير واسع على رؤية مجتمعها للواقع. هذه هي الأساطير الثقافية؛ وهي قصص تحظى بتقدير كافٍ يجعلها تكتسب مكانة مقدّسة. من المعروف أنه يصعب تعريف الأسطورة، لكننا سنستخدم الكلمة للإشارة إلى القصص التي تستدعي عوامل خارقة للطبيعة لاستكشاف الاهتمامات الكبرى للثقافة: أصلها، وطقوسها التي

تُمارَس منذ فترة طويلة، وطرائقها الخاصة لفرض النظام على العالم. ونتيجة عمرها الطويل، وجاذبيتها الواسعة، وما تقدمه من مجموعة من التفسيرات الأساسية، تصبح الأساطير أساس تراثٍ مشترك؛ مجموعة من المآسي والانتصارات، والتأريخ والخيال، والمغامرة والتفكير تميّز شعبًا، وربما مجتمعًا، بعينه.

ثمة تاريخ طويل من العلماء الذين طوَّروا طرقًا ثاقبة لقراءة الأسطورة وتفسيرها. في أوائل القرن العشرين، اقترح عالم الأنثروبولوجيا سير جيمس فريزر أن الأساطير تنبع من محاولات تفسير الظواهر المحيّرة للحياة والطبيعة التي واجهها أشقاؤنا القدامى. ورأى المحلّل النفسي كارل يونج أنه من خلال النماذج الأولية -الأنماط العالمية التي اعتقد أنها متأصّلة في العقل اللاواعي- تعبّر الأساطير عن صفات مشتركة للخبرة البشرية. وذهب جوزيف كامبل إلى وجود النموذج المعروف باسم «رحلة البطل»؛ وهو نموذج رئيسي للقصص الأسطورية تتلقّى فيها شخصية متردّدة دعوة إلى العمل، وتقوم بمغامرة مليئة بالخطر وتجتاز طقوس التغيير، ثم تعود أخيرًا إلى الوطن، على هيئة بطل ولد من جديد تزلزل رحلته إحساسنا بالواقع[42]. وفي الآونة الأخيرة، اقترح عالِم اللغة مايكل فيتزل أن النموذج العالمي لا يظهر بأوضح صورة على مستوى الأساطير الفردية، وإنما يظهر فقط عندما نفكّر في الأساطير الجماعية للتقاليد بأكملها؛ أي خط قصة متسلسل، كما يقترح، يمتد على طول الطريق من بداية العالم إلى زواله النهائي. واستنادًا إلى علم اللغة، وعلم الوراثة السكانية، وعلم الآثار، يذهب فيتسل إلى أن الصفات المشتركة لهذه القصص يمكن إرجاعها إلى شكل سابق من الميثولوجيا نشأ في إفريقيا، ربما منذ مائة ألف عام[43].

تثير هذه المقترحات، وغيرها الكثير مما يتعذّر ذكره، الجدلَ والنقدَ المتحمّس. وهناك من يؤيدونها ومن ينتقصون من شأنها، وتزداد شعبيتها وتنخفض. ويقترح بعض الباحثين أنه رغم تمتّع التفسير الواحد الشامل للأساطير بجاذبية قوية -إذ من شأنه أن يساعد في تحديد الصفات المنتشرة التي شكّلت تراثنا القديم- فإن تعقيد الحياة البشرية كما يتبين لنا عبر تاريخ ضبابي وغير مؤكد قد يستعصي على هذا التفسير الواحد. وبما يتفق مع أغراضنا هنا، من الممكن أن يكون النطاق التفسيري أكثر محدودية. وقد قدمت الباحثة والكاتبة الدينية كارين آرمسترونغ أشد التلخيصات اقتضابًا؛ مشيرةً إلى أن الأساطير «متجذرة على الدوام تقريبًا في خبرة الموت والخوف من الانقراض»[44]، وحتى إذا كنا أكثر تحفظًا وخفَّفنا التعبير «على الدوام تقريبًا» إلى «غالبًا» أو «في حالات كثيرة»، فسيظل لدينا ضوء إرشادي قوي يقودنا إلى الأمام.

ولنستعرض بعض الأمثلة: عندما يسمع جلجامش عن رجل منحته الآلهة الخلود

على ما يبدو، فلا يوقفه شيء -إذ يسافر عبر بريّة شاسعة، ويحارب عقارب عملاقة، ويخوض مياه الموت- في سبيل معرفة سر الهروب من هذه النهاية الحتمية. والموت هو محور الحكاية الهندوسية للإلهة كالي، التي يغضب كمالها أترابها الآلهة لدرجة أنهم قطعوا رأسها بصاعقة برق[45]؛ والموت هو محور أسطورة الخلق لدى شعب كونو التي يعتقد فيها سا، إله الموت، أن ابنته قد اختطفها الإله ألاتاجانا ولأجل الانتقام يقرر موت البشرية جمعاء؛ كما يُعد الموت موضوعًا مهمًّا في قصة ماوي الأوقيانوسية، الذي يمر عبر الفكَّين الشرسين للإلهة-العفريتة النائمة، هينا العظيمة إلهة الليل، عازمًا على تأمين الخلود عن طريق انتزاع قلبها، غير أن هينا تستيقظ وتمزقه بأسنانها الحادة إلى أشلاء[46]. افتح بشكل عشوائي كتاب الأساطير العالمية المفضل لديك، ولن تواصل القراءة كثيرًا قبل أن تقابل موضوع الموت. وهذه الحكايات عن الشخصيات التي تقاتل من أجل حياتها وتجلب الموت إلى العالم يتردّد صداها عبر العديد من القصص التي تتحدّث عن فناء العالم بأسره. وكما يلاحظ فيتسل فإن هذا التدمير «قد يحدث على صورة حريق عالمي هائل؛ جوتيرداميرونج، أو راجناروك في نَصِّ إيدا، أو معدن منصهر في الأسطورة الزرادشتية، أو رقصة شيفا المدمّرة ونارها في الهند، أو النار في أسطورة شعب موندا، أو النار والماء وغيرهما لدى شعب المايا وأساطير أمريكا الوسطى الأخرى، أو تدمير أتوم النهائي للأرض في مصر»[47]. وإذا رغبت في المزيد، فهناك قصص عديدة أخرى تحكي عن عمليات تدمير أخرى تستخدم الجليد، والشتاء اللانهائي، علاوة على حكايات الطوفان التي تحظى بالشعبية في جميع أنحاء العالم.

ما الذي يحدث هنا؟ لماذا كل هذا الخطر والموت والدمار؟ يعتمد السرد على الصراع والمتاعب، وما لم نكن ملتزمين بالإخلال بالأعراف السردية، فسنجد صعوبة بالغة في العثور على قصة نرويها من دون هذه العناصر. أضف ذلك إلى الاهتمامات الأكبر من الحياة الموجودة في جوهر الأسطورة -أصول المكان أو الأشخاص والأسباب المبررة لوجودهم- وستبلغ المعضلات المتأصّلة في القصة أقصى حدودها. فلا يمكن حدوث التقدّم بخلاف ذلك. وحين جاء الوقت الذي امتلكنا فيه اللغة، وبدأنا نروي القصص، كنا قد اكتسبنا القدرة على العيش فيما وراء اللحظة الراهنة. فنحن قادرون على التبحُّر في الماضي والمستقبل بسهولة. وقادرون على التخطيط والتصميم والتنسيق والتواصل والتوقّع والاستعداد. لهذه القدرات فائدة واضحة، لكن بفضل هذه الرشاقة الذهنية نعيش أيضًا مع ذكرى أولئك الذين لم يعد لهم وجود بيننا. ونستنتج من هذا النمط المتمثل في أن لكل حياة نهاية، وهو نمط لم يُخرَق قط. فنحن ندرك أن من المحال الفصل بين الحياة والموت. فهما صفتان أصيلتان للوجود. ويعني التفكير في

الأصول إثارة أسئلة حول النهايات. ويعني التفكير في كيفية عيش الحياة التفكير في غياب الحياة. وتعد حتمية الموت إدراكًا طاغيًا من جانبنا في لحظتنا ومكاننا الحاليين، ولنا أن نتخيّل أنها أشد حضورًا خلال الفترات التي يمكن أن تأتي فيها النهاية بشكل أكثر مفاجأة. ولا عجب إذًا أن اكتسب الموت والدمار هذا الحضور البارز.

ولكن لماذا تعجّ هذه الحكايات القديمة بعمالقة مخبولين، وثعابين تنفث النار، ورجال برؤوس ثيران وما شابه؟ ما سبب وجود الحكايات الخيالية المرعبة بدلًا من الواقعية المرعبة؟ لماذا تذهب لمشاهدة فيلم «أرواح شريرة» أو «طارد الأرواح الشريرة» بدلًا من فيلم «إنقاذ الجندي رايان»، أو «كلاب المستودع»؟ تأتينا إحدى الإجابات المقترحة من عالم الأنثروبولوجيا المعرفية باسكال بوير، الذي بنى رأيه على البحوث المبكرة التي أجراها اختصاصي علم النفس المعرفي دان سبيربر[48]. فلكي يستحوذ مفهوم ما على انتباهنا بقوة كافية بحيث نتذكّره وننقله للآخرين، يجب أن يكون المفهوم جديدًا بما يكفي لتقديم مفاجأة، ولكن ليس شاذًا بحيث نعتبره على الفور سخيفًا. ويرى بوير أن ثمة عملية تأمّلية بعينها تقع في نقطة معرفية ملائمة تكون عندها «مناقضة للحدس بالحد الأدنى»؛ مما يعني أنها تنتهك واحدًا أو ربما اثنين من توقّعاتنا الراسخة بعمق[49]. أشخاص غير مرئيين؟ بالتأكيد، بشرط أن يكون الاختفاء هو السمة الوحيدة المناقضة للحدس. نهر يجيب على مسائل التفاضل والتكامل من خلال غنائها على لحن مسلسل «ماش»؟ هذا سخيف، لذا يرفضه معظم الناس وينسونه سريعًا. وبما يتفق مع المواضيع الأكبر من الحياة التي تتناولها الحكايات الأسطورية، يكون الأبطال الذين نقابلهم أكبر من الحياة أيضًا، لكنهم لا يناقضون بنى الخيال البشري الحدسية إلّا بالقدر الأدنى. لا عجب أن هؤلاء الأبطال لديهم هيئات مادية، قدرة على التفكير، وحتى ملامح شخصية مألوفة تمامًا، حتى لو تجاوزت قواهم توقعاتنا المبنية على ما واجهناه من قبل.

تعتبر اللغة جزءًا آخر من المحرك الإبداعي للأسطورة. فبمجرّد أن نمتلك القدرة على وصف بنية الأشياء العادية -العواصف العاتية، والأشجار المحترقة، والثعابين الزاحفة، وما إلى ذلك- توفر اللغة مادة خامًا، طيعة تمكننا من خلط أجزائها والتوفيق بينها بحرية. وبعملية تبديل بسيطة يمكننا تحويل الصخور العملاقة والأشخاص الناطقين إلى مزيج لغوي آسر، يتمثّل في الصخور الناطقة والأشخاص العمالقة. تطلق اللغة العنان للقدرة المعرفية لتخيّل كل أنواع التركيبات غير المدرَكة التي توجّهنا نحو التجديد[50]. وكانت العقول التي اكتسبت هذه القوة هي العقول القادرة على رؤية المشكلات القديمة بطريقة جديدة. وهي عقول من شأنها أن تبتكر، وأن تتحكّم، بمرور الوقت، في العالم وتعيد تشكيله.

تتغذى الدوامة الإبداعية أيضًا من جانب نظرية العقل لدينا؛ ونعني بها مَيْلنا الفطري إلى أن نعزو إلى أي شيء يمتلك أدنى درجة من القدرة صفة العقل. وكما ذكرنا في مناقشتنا السابقة للوعي، فعندما نقابل أشخاصًا آخرين، حتى لو جرى هذا عن بُعد، ومن دون تفاعل مباشر، فإننا نفترض على الفور أنهم يمتلكون عقولًا تشبه عقولنا بدرجة أو بأخرى. وهذا أمر مفيد من المنظور التطوري. فمن الأفضل توقّع السلوكات التي من الممكن أن تولّدها العقول الأخرى. وينطبق الشيء نفسه على الحيوانات، ولذا فإننا ننسب إليها النوايا والرغبات بصورة غريزية أيضًا. لكننا نبالغ في الأمر أحيانًا، وهو ما أكّده عالم النفس جاستين باريت وعالم الأنثروبولوجيا ستيوارت غوثري[51]. ومن الممكن أن يكون هذا مفيدًا أيضًا من المنظور التطوري. إن الظن عن طريق الخطأ أن الشجيرة البعيدة المضاءة بنور القمر هي أسد يستريح ليس بالأمر المهم. أما الظن عن طريق الخطأ أن الضوضاء التي سمعناها للتو يسبّبها فرع شجرة تهب عليه الرياح بينما يسببها في الحقيقة نمر يقترب، فعواقبه قاتلة. فعندما ننسب صفة القدرة إلى كائنات في البرية، يكون من الأفضل الإفراط في ذلك (إلى حد ما بالطبع) وليس التقليل منه، وهو درس أخذته جزيئات الحمض النووي الناجحة والكائنات الراوية للقصص التي تعيش فيها على محمل الجد.

منذ عقود، وخلال ما كان بالنسبة لي رحلة تخييم نادرة إلى حد ما، تحدّاني رفاقي أن أقضي بعض الوقت بمفردي في الغابة. كان معي قطعة من القماش المشمّع، وحقيبة نوم، وثلاثة أعواد ثقاب، وعلبة صغيرة، وقلم، وصحيفة، ووجدت نفسي وحيدًا بدرجة لم يسبق لي أن شعرت بها. وفق أي مقياس عملي أو نفسي، لم أكن مستعدًا. تمكنت من إنشاء سقف مؤقت منخفض عن طريق وضع القماش المشمع على بعض الفروع المختارة بحكمة، لكنني استهلكت جميع أعواد الثقاب في أول محاولة فاشلة لي لإشعال النار. وعندما بدأت الشمس في الغروب وبدأ الرعب يسيطر عليّ، فردت حقيبة النوم، واندفعت إلى الداخل، وأخذت أحدق في القماش المشمع القريب من وجهي. كنت في حالة من الذعر الشديد. وبسبب أذني المعتادة على ضوضاء المدينة وخيالي الجامح، كنت أعتقد أنّ كل هَبّة ريح وكل صرير دُبًّا أو أسدًا جبليًا. لم يكن لدي أي أوهام بالبطولة، لكنني شعرت بأن كل ثانية لا متناهية كانت أشبه بطقوس التغيير الخاص بي والذي يتحدى الموت. أخرجت قلمي ورسمت عينين دائريتين، وأنفًا ملطخًا، وفمًا ملتويًا، مرتفعًا قليلًا عند الركنين، وعلى الرغم من أن القلم لم يكن مناسبًا للاستخدام على القماش المشمّع، فإن الخطوط الزرقاء المكسورة والبلاستيك الخشن كانا كافيين. ما زلت وحيدًا، لكنني لم أشعر بهذا بالكامل. وإذا كان كل صوت من

ضوضاء الغابة في الليل قد مُنح عقلًا، فالأمر يسري بالمثل على رسمي. كنت معزولًا عن العالم لثلاثة أيام فقط، لكنني صنعت ويلسون[1] الخاص بي.

لقد غرس التطور داخلنا مَيلًا إلى تخيل البيئة المحيطة بنا وكأنها تعج بأشياء تفكر وتشعر، وأحيانًا نتصور أنها تقدّم المساعدة والمشورة، ولكن في أحيان أكثر نتصور أنها تتآمر علينا وتخطط ضدنا، وتعارضنا وتخدعنا، وتهاجمنا وتنتقم منا. إن المبالغة في إكساب أصوات العالم وحركاته عقولًا عازمة على الخطر والدمار من الممكن أن تنقذ حياتك. ومن الممكن لامتلاك المرونة المعرفية لمزج عناصر من الواقع في تركيبات خيالية أن يشكل بذرةً للإبداع. كما أن إضفاء صفات خارقة للطبيعة على الأبطال العاديين يلفت الانتباه ويسهِّل نقل الثقافة. وهذه العناصر، مجتمعة، تسلط الضوء على أنواع القصص التي أسرت خيال أسلافنا وقدّمت الإرشاد السردي للتنقل في العالم القديم.

وبمرور الوقت، من شأن أكثر هذه الحكايات الأسطورية ديمومة أن تشكّل بذرة إحدى أشد القوى في العالم قدرةً على التغيير: الدين.

(1) ويلسون، هو الشخصية التي اخترعها توم هانكس في فيلم Cast Away وصار يكلمه في عزلته.

الفصل السابع

الأدمغة والإيمان



من الخيال إلى التقديس

تخيل أننا عندما نتواصل أخيرًا مع كائنات ذكية من خارج الأرض، نجد أنهم يسردون أيضًا تاريخًا حافلًا بمحاولات إيجاد المعنى. فالحياة القادرة على بناء تليسكوبات، وتصميم مركبات فضائية، والتطلّع إلى الكون والاستماع إلى أحاديثه هي حياة قادرة على التأمل الذاتي. وعندما ينضج الذكاء، يتجسّد نفس الدافع إلى الاستكشاف والفهم على شكل دافع إلى إضفاء الأهمية على الخبرة. وإذا أجبتَ عن عددٍ كافٍ من الأسئلة المتعلّقة بالكيفية سريعًا ما ستتبعها أسئلة أخرى متعلقة بالسبب. هنا على الأرض، أجبر البقاء أشقاءنا الأوائل على أن يكونوا حرَفيين ماهرين. وقد وجب عليهم تعلم تشكيل الحجر والبرونز والحديد، وإتقان تقنيات الصيد والجمع والزراعة. ولكن في أثناء خدمة احتياجات البقاء الأساسية، كافح أسلافنا في سبيل الإجابة عن نفس الأسئلة التي نواجهها؛ الأسئلة المتعلّقة بالأصل والمعنى والغاية. إن البقاء على قيد الحياة يعني البحث عن سبب أهمية البقاء. وكان من الحتمي أن يتحول الحرَفيون الماهرون إلى فلاسفة، أو علماء، أو لاهوتيين، أو كُتَّاب، أو ملحّنين، أو موسيقيين، أو فنانين، أو شعراء. أو إلى أتباع مخلصين لآلاف المنظومات الفكرية والإبداعية، المتباينة والمتوافقة، التي تَعِد بتقديم نظرة ثاقبة على الأسئلة ذاتها التي ظلت تؤرقنا لفترة طويلة بعد امتلاء بطوننا.

وكما توضح قصصنا وأساطيرنا الباقية، فإن الأسئلة الأكثر إلحاحًا هي الأسئلة الوجودية. كيف بدأ العالم؟ وكيف سينتهي؟ كيف يمكن أن نكون هنا في لحظة ما ثم نفنى في اللحظة التالية عليها؟ أين نذهب؟ وما العوالم الأخرى التي قد تكون هناك؟

تَخَيُّل عوالم أخرى

منذ نحو مائة ألف عام، وفي مكان ما جنوب منطقة الجليل، تلقى طفل يبلغ من العمر أربعة أعوام أو خمسةً ضربةً على الرأس بينما كان يلعب في هدوء، أو ربما يسبب إزعاجًا.

جنس الطفل غير معروف، لكن لنتخيل أنها فتاة صغيرة. سبب الإصابة غامض أيضًا. هل تعثرت الفتاة على تلة صخرية شديدة الانحدار، أم سقطت من شجرة، أم تلقت عقوبة مفرطة؟ ما نعرفه هو أن الاصطدام أصاب الجانب الأيمن الأمامي من جمجمتها، مما تسبّب في تلف بالدماغ، عانت منه حتى سن الثانية عشرة أو الثالثة عشرة، عندما توفيت. وقد حصلنا على هذه الحقائق من بقايا هيكل عظمي عُثر عليها في منطقة القفزة، وهي واحدة من أقدم مواقع الدفن، والتي بدأ التنقيب فيها في ثلاثينيات القرن الماضي. وعلى الرغم من العثور على رفات ستة وعشرين شخصًا آخرين في الموقع، فإن دفن الفتاة الصغيرة كان مميزًا؛ إذ وُضعت قرون غزالين على صدر الفتاة مع وضع الأطراف على راحة يدها، ويرى الباحثون أن هذا الترتيب يعد دليلًا على دفن احتفالي. هل يمكن أن تكون القرون زخرفة غير مقصودة؟ ربما. لكن من السهل الاتفاق مع حُكم فريق البحث وتصوره لهيكل «القفزة 11»، وهو الاسم الذي أطلق على الطفلة، والذي يقضي بأنها دُفنَت في طقس احتفالي أجراه منذ مائة ألف عام بشرٌ أوائل كانوا يفكّرون في الموت، ويكافحون من أجل فهم ما يعنيه، ويفكّرون ربما في ما قد يأتي بعده[1].

على الرغم من أن الاستنتاجات المتعلّقة بحوادث بعيدة للغاية تكون غير حاسمة بالتأكيد، فإن التنقيب عن مواقع الدفن من عصور لاحقة يجعل التفسير أكثر معقولية. في العام 1955، في قرية دوبروجه، على بعد نحو مائتي كيلومتر شمال شرقي موسكو، كان ألكسندر ناشاروف يشغّل حفارة لصالح شركة فلاديمير لأعمال الخزف عندما لاحظ أن الطين البني المصفَرّ الذي جمعه يحوي بعض العظام. كانت هذه الأولى من بين عظام كثيرة جرى اكتشافها على مدار العقود القليلة التالية في سانجير، أحد أشهر مواقع الدفن في العصر الحجري القديم. ويثير أحد القبور الذهول بشكل خاص؛ إذ دُفن صبي وفتاة، يبلغان من العمر حوالي 10 أعوام و12 عامًا عند الوفاة، وجهًا لوجه فيما يبدو أنه اندماج أبدي بين عقلين شابّين. دُفنَت رفاتهما منذ أكثر من ثلاثين ألف عام، وكانت مزيَّنة بواحدة من أكثر مجموعات الجنائز المُكتشَفَة تعقيدًا على الإطلاق؛ إذ ضمت أغطية رأس مصنوعة من أسنان الثعالب القطبية المزخرفة، وأساور يد عاجية، وأكثر من دزينة من الرماح العاجية، وأقراص عاجية مثقبة، وأكثر من عشرة آلاف حبة عاج منحوتة من المرجح أنها كانت مخيطة في زي دفن الطفلين، وكان من شأنها أن تسعد محبي المغني ليبراس(1). وحسب تقديرات الباحثين فإنه في حالة العمل بوتيرة مذهلة تقدّر بمائة ساعة أسبوعيًا، كان من الممكن أن يستغرق الحرَفي أكثر من عام

(1) مغنٍ وعازف بيانو وممثل أمريكي اشتُهر بملابسه المزخرفة والمبهرجة (المترجم).

لصنع هذه الحلي[2]. ويوفّر الاستثمار على الأقل إشارة قوية إلى أن طقوس الدفن كانت جزءًا من استراتيجية لتجاوُز حتمية الموت. فربما يفنى الجسد، لكن من شأن سمة حيوية ما، يمكن تعزيزها أو إرضائها أو تكريمها، أو إرضائها من خلال ملحقات الدفن المتقنة، أن تستمر.

ذهب عالم الأنثروبولوجيا إدوارد بيرنت تايلور، في القرن التاسع عشر، إلى أن الأحلام كان لها تأثير مقنع وَجَّه البشر الأوائل إلى هذا الاستنتاج تحديدًا[3]. ولنا أن نتصوّر أن هذه المغامرات الليلية، من العجيبة إلى الجامحة، أوحت بصورة مستمرة بوجود عالم يتجاوز ما هو متاح للأعينِ المفتوحة. ومن شأن الاستيقاظ من زيارة صديق أو قريب رحل عن عالمنا أن يخلّف لديك شعورًا بأنه لا يزال موجودًا، بصرف النظر عما إذا كان هذا سيشعرك بالارتياح أم الخوف. وهذا الشخص موجود لكن ليس بالطريقة التي كان يوجد بها من قبل. ومن الواضح أنه ليس هنا. لكنه قريب بصورة أثيرية ما. وتدعم السجلات المكتوبة، على الرغم من عدم توافرها إلّا بعد فترة طويلة، هذا التكهّن من خلال المَرّات الوفيرة التي تقدّم بها الأحلام نوافذ على عوالم غير مرئية. فسَّرَ السومريون والمصريون القدماء الأحلام على أنها أوامر إلهية، وفي العهدين القديم والجديد، كثيرًا ما تتجلى الإرادة الإلهية عبر الأحلام. وفي العصر الحديث، تكشف الدراسات التي أُجريَت على مجتمعات الصيد المنعزلة مثل سكان أستراليا الأصليين عن الدور الأساسي لـ«زمن الحلم»، وهو عالم أبدي تنبع منه كل صور الحياة وتعود إليه. تشيع أيضًا حالات الغشية التي تشبه الحلم في عددٍ من التقاليد التي تنخرط في طقوس مدفوعة بالموسيقى الإيقاعية والرقص المُنهِك، والتي يمكن أن تستمر لساعات وتستحث حالة تشبه التنويم المغناطيسي، وبحسب وصف المشاركون فإنهم يشعرون بأنهم انتقلوا إلى مستويات مختلفة من الواقع[4].

وخلال ساعات اليقظة أيضًا لا يوجد نقص في الحوادث التي توحي بوجود واقع يتجاوز الواقع المرئي: قوى جبّارة تعمل على الأرض وفي السماء، الحوادث المتقلبة للوجود اليومي، الأخطار المتكررة المهددة للحياة والقاتلة. وقد هَيأ النجاح التطوري داخل بيئة اجتماعية أدمغتنا لإسناد خبرات مشتركة إلى أفعال كائنات أخرى. وعندما يضرب البرق أو تحل الفيضانات أو تهتز الأرض، واصلنا تخيل أن ثمة كائنًا مفكرًا هو المسؤول. ولنا أن نتخيل أسلافنا وهم يقرون ضمنيًا، في مواجهة كل ذلك، بحدود تأثيرهم في عالم يسوده عدم اليقين، واستجابةً لذلك يستحضرون شخصيات تسكن عالمًا غير مرئي من شأنها أن تتمتّع بالقوى نفسها التي يفتقرون إليها.

وبصرف النظر عن كون هذه الاستجابة مقصودة أم لا، فقد كانت بارعة بشكل

مذهل؛ إذ مَكَّنتنا من نسج حوادث عشوائية على هيئة قصص متماسكة، وتخيّل عوالم غير مرئية مليئة بشخصيات مألوفة ومُختلَقَة. وتعيين أسماء ووجوه، حقيقية وخيالية، لتلك الكيانات التي تراقب ما نقوم به ويمتلكون سيطرة مُطلقة على مصيرنا. وإعادة صياغة الفناء على شكل بوابة اجتازتها القفزة 11، ورفاقها المدفونين في الكهف والبالغ عددهم 26 شخصًا، علاوة على أجيال من أسلافها، في طريقهم إلى هذه العوالم غير المرئية ولكن السامية. كما مكنتنا من سرد قصصهم وإعادة سردها، وبالترافق مع هذه الروايات استدعاء الشخصيات، ونقاط الضعف، والأحقاد، والغيرة، وكل أنواع السلوك البشري التي تتجلّى في عوالم قريبة من أجل تفسير الحوادث غير المبررة في عالمنا.

تقدّم غزواتنا الفنية القديمة تلميحات إضافية عن انشغال دنيوي آخر. فقد وجد المستكشفون في جميع أنحاء العالم عشرات الآلاف من الصور المرسومة على الجدران الصخرية، يعود تاريخ بعضها إلى ما يزيد على أربعين ألف عام. وتكشف هذه الصور عن مجموعة متنوعة من الكائنات، من الأسد إلى الخرتيت، إلى كائنات هجينة إبداعية منها مزيج من غزالة وامرأة، وطير ورجل. يأخذ الشكل البشري دورًا ثانويًا، وغالبًا ما يتم تنفيذه كرسم تخطيطي أولي، هذا إذا ظهر على الإطلاق. يكثر وجود مجموعات طبعات الأيدي البشرية، مُصوَّرة على هيئة مخططات فوضوية متداخلة لا يسعنا إلّا تخمين معناها؛ فهل تجاهد للمس عالم آخر، أم تتوق لاكتساب متانة الصخرة التي تبدو غير محدودة، أم تطبع زخارف غزيرة، أم تترك نسخة مبكرة من عبارة «كيلروي كان هنا»؟[1]. تتلاشى النيّات وهكذا لا يتبقى أمامنا سوى التساؤل. وبينما نفعل هذا، فإننا ندرك في الساحر الراقص وثور البيسون المحتضر الجهود المبكرة لقوة إبداعية تبدو مشابهة لقوتنا. وعند النظر إلى ما دون سطح الصخرة مباشرة، نلمح أنفسنا ونحن نردّ النظرة بمثلها.

هنا يكمن كل من التشويق والخطر. فقد تُغرينا جاذبية لقاء أقربائنا من الثقافة القديمة بإسناد معنى لا داعي له لأعمالهم الإبداعية. وربما لا يتجاوز فن الكهوف أكثر من كونه محض رسوم عديمة المعنى للعقل الواعي المبكر، أو، في وصف أكثر تفصيلًا، ربما يوضح فن الكهوف دافعًا جماليًا قديمًا، ما أطلق عليه البعض «الفن من أجل الفن»[5]. ومن الخطر أن نستنتج منه إلهام أولئك الذين عاشوا قبل مئات القرون، لذا يُنصح بعدم المبالغة في ذلك. ولكن عندما تفكّر في المشقة المطلوبة للوصول إلى بعض هذه المواقع على الأقل -يصف عالم الآثار ديفيد لويس ويليامز كيف أن المستكشفين الآن،

---

(1) تعبير أمريكي أصبح شائعًا خلال الحرب العالمية الثانية، ويرتبط برسومات الجنود في الأربعينيات (المترجم).

وفناني الكهوف في الماضي على الأرجح «جَثوا وزحفوا تحت الأرض على طول ممر ضيّق ومظلم تمامًا لأكثر من كيلومتر، وانزلقوا على طول ضفاف طينية وخاضوا في بحيرات مظلمة وأنهار خفية»[6]- يبدو تفسير الفن من أجل الفن غير معقول. وحتى أشقاءنا القدامى ذوي الالتزام البوهيمي القوي للغاية من المرجح أن يختاروا سبلًا أسهل لإرضاء دافع فني بحت.

وهكذا، ربما كان أسلافنا الفنانون يقيمون احتفالات سحرية لضمان نجاح عملية الصيد، وهي فكرة روّج لها عالم الآثار سالومون ريناخ في أوائل القرن العشرين[7]. أليس استكشاف الكهوف والرسم ثمنًا بخسًا إذا كان سيضمن عشاءً لذيذًا وضروريًا؟[8] أو، كما اقترح لويس ويليامز، مطوّرًا الأفكار السابقة التي ناقشها المؤرخ الديني ميرسيا إلياد، ربما يكون فن الكهوف مستمَدًا من رحلات الرأس الشامانية. ومع اكتساب الروايات الأسطورية مزيدًا من الأتباع، أصبح الشامان -القادة الروحيون الذين اكتسبوا مكانة بارزة من خلال إقناع الآخرين، وربما أنفسهم أيضًا، بقدرتهم على السفر إلى العوالم غير المرئية القريبة من عالمنا- وسطاءً بين هذا العالم والعالم الآخر. وربما يكون مصدر إلهام رسوم العصر الحجري القديم هي الرؤى الشبيهة بالغشية التي تراءت للشامان وهم يتفاوضون مع الشخصيات الأسطورية أو يوجّهون حيوانات خيالية.

يبدو أن أوجه التشابه المذهلة بين تكوينات تفصل بينها قارات وألفيات كاملة تشير إلى تفسير شامل واحد لفن الكهوف. ولكن حتى إذا كانت هذه الرؤية طموحة للغاية، فثمة خاصية واحدة يقتنع بها تمامًا عالم الآثار بنجامين سميث: «كانت الكهوف بعيدة كل البعد عن كونها محض «قماش كانفاه». فقد كانت أماكن تُقام فيها الطقوس، حيث يتواصل الناس مع الأرواح والأسلاف الذين يسكنون في عالم آخر، وكانت أماكن مليئة بالمعنى والصدى»[9]. ووفقًا لـ سميث والعديد من الباحثين ذوي الفكر المشابه، فقد آمن أسلافنا بعمق أن بمقدورهم التأثير على القوى الروحية من خلال الفن والطقوس. وبصرف النظر عن هذا الاستنتاج الواثق، فعندما ننظر إلى الوراء خمسة وعشرين ألف عام، أو خمسين، أو ربما حتى مائة ألف عام، تكون التفاصيل ضبابية، ولذا فمن المستبعد أن نعرف على نحو قاطع ما الذي حفّز أشقاءنا القدامى. ومع ذلك، ثمة صورة متّسقة آخذة في التكوُّن، حتى لو لم تكن شديدة الوضوح. فنرى أسلافنا ينخرطون في طقوس دفن احتفالية، وطقوس توديع إلى عوالم أخرى، ويبتكرون فنًّا يتخيّل حقائق تتجاوز الخبرة المباشرة، ويسردون حكايات أسطورية تستحضر الأرواح القوية والخلود والحياة الآخرة؛ باختصار، تتلاقى معًا خيوط ما ستسميه الأجيال اللاحقة الدين، وليس علينا أن نجتهد كي نرى الإقرار بوقتية الحياة وهو يتخلل كل ذلك.

الجذور التطوّرية للدين

هل يمكننا استخدام النزعة الدينية البازغة في تفسير التبني الواسع للممارسة الدينية في كل أنحاء العالم؟ يرى أنصار العلوم المعرفية، مثل باسكال بوير، أننا نستطيع ذلك. ويقترح بوير أنه حتى عبر الطيف الأوسع للانخراط الديني يوجد أساس تطوّري قابل للتطبيق بشكل موحد:

من الممكن العثور على تفسيرٍ للمعتقدات والسلوكيات الدينية في الطريقة التي تعمل بها كل عقول البشر. أعني كلَّ العقول البشرية حقًّا، وليس فقط عقول المتدينين... لأن ما يهم هنا هي خصائص العقول التي توجد في جميع أفراد جنسنا ذوي الأدمغة الطبيعية[10].

وتقضي هذه الأطروحة بأن ثمة سمات أصيلة في أدمغة البشر، تشكّلت على مدى دهور من خلال معركة لا هوادة فيها من أجل التفوق التطوري، هيَّأتنا لامتلاك القناعات الدينية. لا يعني ذلك وجود جينات إلهية أو تغضّنات دماغية تعبّدية. بدلًا من ذلك، يعتمد بوير على فهم للدماغ طوره اختصاصيو العلوم المعرفية وعلم النفس التطوري في العقود الأخيرة، والذي يصقل تشبيه العقل بالحاسب الآلي الشهير. وبدلًا من تشبيه الدماغ بحاسب ذي أغراض عامة ينتظر أي برمجة يكتسبها من خلال الخبرة، يتم تشبيه الدماغ بحاسوب ذي أغراض خاصّة، مجهَّز ببرمجيات صمّمها الانتخاب الطبيعي لتعزيز احتمالات البقاء والإنجاب لدى أسلافنا[11]. تدعم هذه البرامج ما يشير إليه بوير باسم «أنظمة الاستدلال»، وهي عمليات عصبية مخصّصة بارعة في الاستجابة لأنواع التحديات -من رمي الرماح إلى مغازلة شركاء التزاوج إلى عَقد التحالفات- التي حدّدت أيّ الجينات انتقلت بنجاح إلى الجولة التالية وأيها لم ينتقل. النقطة المركزية لدى بوير هي أن أنظمة الاستدلال هذه يتم استيعابها بسهولة بواسطة الصفات الجوهرية المتصلة بالدين.

قابلنا بالفعل أحد أنظمة الاستدلال هذه: نظرية العقل الخاصة بنا، التي نعزو بها نوع الوكالة الذي نشعر به داخليًا إلى كيانات نواجهها في العالم الخارجي. إن المَيْل التكيفي النافع نحو الإفراط في إضفاء هذه الوكالة يوضح سبب تخيلنا بسهولة أن النطاقات المحيطة بنا -سواء تحت الأرض أو في السماء- تسكنها عقول يقظة. تشمل أنظمة الاستدلال الأخرى فهمنا البديهي لعلم النفس وللفيزياء: فمن دون تعليم رسمي نمتلك جميعًا فهمًا أساسيًا لقدرات العقول والأجساد. وإذا أضفنا أنظمة الاستدلال هذه إلى انجذابنا نحو المفاهيم التي تعارض البديهة بالحد الأدنى (تذكّر أن هذه هي المفاهيم التي تخالف عددًا صغيرًا من توقعاتنا البديهية) لن نجد صعوبة تُذكَر في تفسير

سبب تمسّكنا بمفاهيم مثل الأرواح والآلهة (وكلاء يتمتعون بعقول شبيهة بالبشر، لكنها تخالف التوقّعات في واقعها الجسدي وقواها النفسية والجسدية). تحتوي الأدمغة الطبيعية أيضًا على أنظمة استدلال اجتماعية، مثل تَتَبُّع العلاقات، وضمان حصول صاحبها على معاملة عادلة. فإذا فعلت شيئًا من أجلك، سيتعين عليك القيام بشيء من أجلي، ولا تظن أنني غافل عن هذا الأمر. وقد يكون هذا التنوّع المتبادل من الإيثار هو مصدر الطبيعة العابرة للعلاقة التي تربط في المعتاد بين الكيانات الخارقة للطبيعة الموجودة داخل التقاليد الدينية بأتباعها: سأضحي، سأصلي، سأفعل الخير، لكنني أرغب في نيل دعمك غدًا في ميدان المعركة. على الجانب الآخر، عندما تسوء الأمور، فنحن جميعًا على استعداد لأن نعزوها إلى فشلنا الفردي أو الجماعي في تلبية التوقعات الإلهية.

يطور بوير، في كتابه «شرح الدين» (*Religion Explained*)، هذه الأفكار بالكامل، كما طوّر باحثون آخرون صورًا متنوعة من أفكار مشابهة[12]. بيد أن المخطّط العام الذي أورده هنا يوصل جوهر هذا النهج: فقد تشكل تطوّر الدماغ بواسطة المعركة من أجل البقاء، والدماغ المنتصر هو ذلك الذي لديه صفات تعتنق الدين بأذرع مفتوحة. ويعد هذا مثالًا على ما أشرت إليه سابقًا بالصفقة التطورية الشاملة. قد لا يتسم الميل إلى المعتقد الديني بقيمة تكيفية خاصة به، ولكنه يأتي مصحوبًا بمجموعة من الصفات الدماغية الأخرى التي جرى اختيارها بسبب وظائفها التكيفية. لا يعني هذا أننا سنكون جميعًا متدينين، تمامًا مثلما لا يعني الميل الطبيعي إلى تناول الحلوى أننا سننغمس جميعًا في تناول الكعك المُحلّى. لكنه يعني أن أنظمة الاستدلال في الدماغ تستجيب بشكل خاص لأنواع السمات التي تظهر في أديان العالم. وفي الواقع، هذا التناغم هو السبب الحقيقي لاستمرار مثل هذه السمات في أديان العالم. والكيانات الدينية، من الآلهة والأشباح إلى الشياطين والعفاريت، أو القديسين، أو الأرواح، توجّه باقتدار عقولنا البشرية المتطورة. نحن نهتم بها، ونعمل بما يتفق معها، ونعلن عنها صراحةً، وبالتالي فإنها تنتشر على نطاق واسع[13].

إذًا، هل الأمر كذلك حقًّا؟ هل تسبَّبَ مبدأ البقاء للأصلح في تجهيز عقولنا بحيث صار الحسّ الديني يُغرَس بسهولة في العقول الصالحة؟ ماذا عن الدور الذي نتخيل أن الدين قد لعبه (وما زال يلعبه في نظر الكثيرين) في تفسير ما يبدو غير قابل للتفسير، من أصل الحياة والكون إلى معنى الموت؟ لا ينكر بوير، وآخرون كثيرون ممن يقدمون وجهات نظر مماثلة، دورَ الدين في معالجة هذه القضايا، لكنهم يذهبون إلى أن مثل هذه الاعتبارات لا تكفي لتفسير علة نشوء الدين والسمات التي يتّصف بها. إن السبب

الواضح هو العقل البشري، ومن دون التركيز الأساسي على الطبيعة المتطوّرة للعقل، فإننا نتغافل عن القوة المهيمنة.

إن الحجة التي طوّرها بوير وزملاؤه من الباحثين مقنعة وثاقبة. ولكن كما هو الحال مع كل أشكال التنظير في نطاق الدماغ والعقل والثقافة الهائل التعقيد، يصعب الوصول إلى استنتاجات حاسمة تقنع جميع العقول الحديثة، أو على الأقل تلك العقول التي تفكّر بعناية في القضايا المطروحة. علاوة على ذلك، حتى إذا نجحت الدراسة المعرفية للدين في الكشف عن وجود استعداد فطري للفكر الديني، فلا يزال هناك مجال واسع للدين ليكون أكثر من مجرّد ملحق للتطوّر، أكثر من مجرد نتاج ثانوي لتكيّفات معرفية سابقة. وبحسب ما يرى باحثون آخرون فقد يكون الدين موجودًا في كل مكان لأنه قدّم مساهمته الخاصة في صلاحيتنا التكيفية.

التضحية في سبيل المجموعة

واجهت القبائل التي تعتمد على الصيد والجمع، مع نمو أحجام عشائرها، مشكلةً حرجة. فكيف تضمن التعاون والولاء بين مجموعات كبيرة بشكل متزايد من الأفراد؟ بالنسبة إلى مجموعات الأقارب، تقترح فكرة تعود إلى داروين وطُوِّرَت على مدى العقود اللاحقة على أيدي عدد من العلماء المشهورين، من بينهم رونالد فيشر وجي بي إس هالدان ودبليو دي هاملتون، أن التطور عن طريق الانتخاب الطبيعي يحلّ المشكلة بكل سهولة[14]. فأنا وفيٌّ لأشقّائي وأولادي والأقارب الآخرين لأننا نشترك في جزء كبير من جيناتنا. ومن خلال إنقاذ شقيقتي من فيل غاضب، أزيد من احتمالية بقاء الأجزاء الجينية المطابقة لجيناتي وانتقالها إلى الأجيال اللاحقة. لا أحتاج إلى معرفة هذا. وخلال عملي البطولي الشجاع أنا بالتأكيد لا أحسب الوفرة النسبية في مجموعة الجينات المستقبلية. ولكن وفقًا للمنطق الدارويني القياسي فإن ميلي الغريزي إلى حماية أقاربي، وحتى التضحية بنفسي من أجل مجموعات من أقاربي، سيتعزّز من جانب الانتخاب الطبيعي، مما يدعم استمرار مثل هذا السلوك في ذريتي الذين يتشاركون نسبة كبيرة من نمطي الجيني. المنطق واضح ومباشر، لكنه يثير السؤال: عندما تنمو المجموعات حجمًا بحيث تتجاوز جماعات الأقارب، هل هناك مزية وراثية لهذا التعاون؟

إذا تمكّنتَ من إيجاد طريقة تجعلني أفكّر، أو على الأقل أتصرّف كما لو أن أعضاء المجموعة الأكبر هم جزء من عائلتي الممتدة، فقد تُحَل المشكلة. لكن كيف تُحققَ ذلك؟ ناقشنا سابقًا كيف يمكن للقصة أن تسهل الحياة الجماعية، من خلال تعزيز فهمنا للعقول الأخرى. ويطوّر بعض الباحثين، مثل عالم الأحياء التطورية ديفيد سلون

ويلسون، أفكارًا دافع عنها عالم الاجتماع إميل دوركايم قرب مطلع القرن العشرين، ويأخذون هذا الدور التكيفي خطوة أبعد بكثير[15]. فالدين عبارة عن قصة، تعززها العقائد، والطقوس، والرموز، والفنون، والمعايير السلوكية. ومن خلال إضفاء هالة من القداسة على مجموعات من هذه الأنشطة وتأسيس علاقة ولاء شعورية بين ممارسيها، يوسّع الدين نادي القرابة. فالدين يقدّم العضوية لأفراد لا تربط بينهم صلة قرابة ومن ثَم يشعرون بأنهم جزء من مجموعة مترابطة بقوة. وعلى الرغم من ارتباطنا الجيني ضعيف، فإننا مستعدون للعمل معًا وحماية بعضنا بعضًا بسبب ارتباطنا الديني.

هذا التعاون مهم، بل هو شديد الأهمية. وكما رأينا، فإن أحد الأسباب الرئيسية وراء هيمنة البشر هو أن نوعنا لديه القدرة على الجمع بين القوة الدماغية والعضلية، والعيش والعمل في مجموعات، وتقسيم المسؤوليات وتلبية احتياجات الجماعة بشكل فعال. ومن شأن التماسك الاجتماعي الأكبر لأولئك الذين ينتمون إلى مجموعة مترابطة دينيًّا أن يجعلهم قوة هائلة في عالم الأسلاف، ووفقًا لهذا الرأي فقد لعب الانتماء الديني دورًا تكيفيًّا.

أثار هذا المنظور النقاش على مدار عقود. ويعرب بعض الباحثين عن حنقهم كلما استُخدِم التماسك الجماعي كتفسير تطوّري، إذ يرون في ذلك عودة مبتذلة إلى تفسير سلوكات ذات فائدة اجتماعية مزعومة ليس لها قيمة تكيفية بخلاف ذلك[16]. علاوة على ذلك، فإن القيمة التكيفية للتعاون هي في حد ذاتها أمر معقَّد: ففي أي مجموعة من الأفراد المتعاونين، يمكن للأعضاء الأنانيين التلاعب بالنظام. ومن خلال الاستفادة من الرفاق الودودين، يمكن للأفراد الأنانيين الحصول على حصة غير مستحقّة من الموارد ومن ثم تزداد احتمالية البقاء والتكاثر لديهم بشكل غير منصف. وعن طريق تمرير ميولهم الذاتية، تنحو ذريتهم إلى فعل الشيء نفسه، وهو ما يتسبّب مع مرور الوقت في دفع رفاقهم الذين يثقون في الغير -جنبًا إلى جنب مع مشاعرهم الدينية- إلى الانقراض. وهكذا تنعدم المزية التكيفية للدين.

يقر مؤيدو الأساس الديني للتماسك الاجتماعي بهذه القضية، لكنهم يؤكّدون أنها لا تشكل سوى نصف القصة وحسب. فداخل حدود مجموعة منعزلة من الأعضاء المتعاونين، من المؤكد أن يربح المتسلّلون الأنانيون. غير أن الجماعات ذات المصالح -الصيادون وجامعو الثمار في عصر البليستوسين- لم تكن معزولة. فقد كانت تتفاعل، وتتقاتل، ووفق إحدى قراءات السجلّ الأثري كانت معاركهم مميتة. ومن شأن مجموعة من الأفراد المتعاونين، الذي يكرّس كل منهم جهده لرفاهية المجموعة، أن تحقّق نتائج أفضل. وحسب تعبير داروين نفسه: «عندما كانت قبيلتان من البشر البدائيين،

تعيشان في المنطقة نفسها، تتنافسان، فإذا كانت إحداهما (في ظل تساوي كل الظروف الأخرى) تضم عددًا كبيرًا من الأفراد الشجعان والمتعاطفين والمخلصين، المستعدين دائمًا لتحذير بعضهم بعضًا من الخطر، ومساعدة بعضهم بعضًا والدفاع عنهم، ستحقّق هذه القبيلة نجاحًا أكبر وتقهر الأخرى»[17]. علاوة على ذلك، فإن أولئك الذين كانت خدماتهم مدفوعة بالإخلاص لأسلاف راحلين أو آلهة يقظة سيكونون أكثر موثوقية وحماسةً في التزامهم بالقضية[18]. وهكذا من أجل تحديد الصفات الجينية التي انتقلت عبر مجموعة الجينات، علينا ألّا نضع في الاعتبار فقط الديناميات داخل المجموعات، التي تحابي السمات الأنانية، ولكن أن نضع أيضًا الديناميات بين المجموعات، التي تحابي النزعة التعاونية. وإذا افترضنا أنه عبر عدة آلاف من الأجيال، هيمن النجاح بين المجموعات على حسابات البقاء على قيد الحياة، فمن شأن الولاء للمجموعة أن يسود، وبذا سينتصر التماسك الاجتماعي للدين.

يظل الانتصار المُتَخيَّل على هذا النحو غير حاسم؛ لأنه يعتمد على هذا الافتراض تحديدًا -هيمنة القوى المؤثّرة بين المجموعات على القوى المؤثرة داخل المجموعة- وليس الجميع مقتنعين بأنه يقدّم صورة دقيقة للحياة والموت على امتداد ماضينا في الصيد والجمع. ومما يعزّز موقف المتشكّكين أن من الممكن أن يظهر تفسير للسلوك التعاوني من اعتبارات أكثر واقعية: ونعني بهذا رياضيات نظرية الألعاب. فبين الطرفين القصوَيَين للسلوك الأناني والإيثاري، هناك استراتيجيات لا حصر لها يمكن أن يتبعها أي فرد من أفراد المجموعة. ربما أميل إلى نكران الذات، لكن إذا خدعتني عدة مرات فسوف يظهر جانبي الأناني بقوّة. وبمجرد أن أفقد ثقتي بك، ربما لن أثق بك مرة أخرى مطلقًا؛ لكن إذا أسديت لي معروفًا مرة تلو الأخرى ربما سأمنحك فرصة لاستعادتها. وهلم جرًّا. ماذا سيحدث في مجموعة كبيرة تضم أفرادًا ملتزمين بمجموعة من الاستراتيجيات المختلفة؟ حسنًا، توفّر الاستراتيجيات التعاونية المختلفة قيمَ بقاء مختلفة، ومن ثم ستخضع هي نفسها عبر الأجيال إلى الانتخاب الدارويني. وباستخدام التحليلات الرياضية والمحاكاة الحاسوبية، قارن الباحثون استراتيجيات مختلفة بعضها ببعض ووجدوا أن ثمة استراتيجية واحدة بعينها -مفادها: «سأعاملك بالحُسنى ما دمت تعاملني بالحُسنى، لكن إذا خدعتني سأنتقم منك بسرعة»- تتفوق بشكل موثوق على الاستراتيجيات الأخرى، بما فيها تلك الأكثر أنانية بكثير. وهكذا يشير التحليل النظري إلى أن التعاون الموصوف بهذه الصورة يساعد على البقاء[19]. وبالنسبة للمنتقدين، يوضح هذا أن التعاون يمكن أن ينشأ بشكل عضوي وينتشر عبر الانتخاب الطبيعي، من دون الحاجة إلى اعتناق المشاركين معتقدًا دينيًا مشتركًا.

بعد عقود من الجدل، يزعم بعض الباحثين الآن أن هذه الخلافات قد سُوِّيَت بشكل نهائي. ولكن منذ أن صدرت مثل هذه التقييمات من قبل مؤيدين على كلا الجانبين، لا يزال تقييم دور الدين باعتباره الغِراء (اللاصق) الاجتماعي الذي عزّز البقاء في عصر البليستوسين بعيدًا عن الإجماع. إنها مشكلة معقّدة. يجمع الدين بين عدد من الصفات المغرية، منها سحر القصة، والميل إلى إضفاء صفة الوكالة، وراحة الطقوس، والشهية للتفسير، وأمن المجتمع، والجاذبية المعرفية لمخالفة التوقعات، وهو بمنزلة عملية تنمية بشرية غنية ومعقدة نشأت في وقت بعيد جدًا إلى درجة أن البيانات الملموسة، من الممارسة القديمة إلى الصراع داخل المجموعة، نادرة. وما من شك في أن النقاش سيستمر.

ثمة احتمال مختلف تمامًا مفاده أنه عند تقييم الوظيفة التكيفية المحتملة للدين، فإن الجدل حول تماسك المجموعة يغفل جزءًا أساسيًا من القصة. وقد اقترح العديد من الباحثين أن التأثير التكيفي للدين يتجلّى بشكل مباشر على مستوى الفرد.

التكيف الفردي والدين

خلال دراستنا لأصل اللغة، أوضح أحد المقترحات دور تبادل القيل والقال في الحفاظ على الترتيبات الهرمية وتعزيز التحالفات. وعلى الرغم من أنه قد يُنظَر إلى هذه المحادثات باعتبارها تافهة في العصر الحديث، يضع عالم النفس جيسي بيرنج تبادل القيل والقال في محور الدور التكيفي للدين في العالم القديم. فقبل أن نكتسب القدرة على الكلام، قد يسيء شخص مارق بيننا السلوك -كأن يسرق الطعام، أو يغوي أحد شريكي التزاوج، أو يتلكأ خلال عملية صيد- وإذا كان عدد الشهود على هذا الانتهاك قليلًا أو كانوا ذوي مكانة متدنية، قد يفلت الجاني بفعلته من دون قصاص. لكن تغير الأمر بمجرّد أن ترسّخت اللغة. وحتى في حالة وجود مخالفة واحدة، لكنها حظيت بالمناقشة على نطاق واسع، سوف تتأثّر سمعة الجاني سلبًا وتنخفض فرصه في التكاثر. ويتمثل اقتراح بيرنج في أنه إذا تخيّل المنتهك المحتمل أن هناك دائمًا شاهدًا قويًا -يحوم في الريح أو في الأشجار أو في السماء- فمن الأقل ترجيحًا أن يقدم على الانتهاك، وأقل ترجيحًا أن يكون موضوعًا للقيل والقال الذي ينال من سمعته، وأقل عُرضة لأن يصير منبوذًا اجتماعيًا. ومن ثَم، من المرجح بدرجة أكبر أن تكون له ذرية وأن ينقل غرائز خشية الله إليهم. إن الاستعداد الفطري للدين يحمي نسله الجيني، وبذا يخلّد ذاته[20].

تأتي أدلة داعمة من التجارب التي أجراها بيرنج وفيها قُدِّمَت لأطفال مهمةٌ صعبة

ثم تُركوا بمفردهم لإنجازها. في غياب الإشراف، وجد الباحثون ما توقّعوه. سوف يغش العديد من الأطفال. ومع ذلك، فإن أولئك الأطفال الذين قيل لهم إن هناك شاهدًا غير مرئي في الغرفة، ذا حضور ودود ولكنه يقظ تمامًا، يكونون أكثر عرضة للالتزام بالقواعد. ينطبق هذا حتى على هؤلاء الأطفال الذين يزعمون أنهم لا يؤمنون بوجود كيان غير مرئي على الإطلاق. لدى بيرنج رأي وجيه مفاده أن العقل اليافع يوفّر نافذة مباشرة أكثر على طبيعتنا البشرية الفطرية مقارنةً بالعقول الأكبر سنًا التي خضعت لتأثير ثقافي أكبر، ويخلص من تجاربه إلى أن هذا العقل اليافع يميل إلى التصرف وفقًا لوجود غير مرئي يراقب سلوكه باستمرار. في العصور القديمة، كانت هذه القابلية تحديدًا هي ما شجعت السلوك الاجتماعي الإيجابي الذي حمى السمعة، وزاد من فرص التكاثر، ومن ثَم انتشرت هذه القابلية بدرجة أكبر؛ قابلية امتلاك الحس الديني.

طوّر علماء النفس الاجتماعي التجريبيون دورًا تكيفيًا مختلفًا للدين؛ وأمضوا عقودًا في تطوير رؤية إرنست بيكر، الذي تعرضنا إلى إنكاره للموت في الفصل الأول. ويذهب هؤلاء الباحثون إلى أن الرعب الناتج عن معرفة أننا سنموت، «كان من الممكن أن يجعل أسلافنا محض أكوام مرتعشة من البروتوبلازم البيولوجي يسيرون على الطريق السريع نحو النسيان»[21]. ويقترحون أن الشيء الذي ربما أنقذنا هو الوعد بالحياة بعد الموت الجسدي، سواء بالمعنى الحرفي أو الرمزي. قدّم بيكر نفسه حجة مقنعة مفادها أن مواجهة الوعي بالموت من خلال استدعاء مكوّن خارق للطبيعة كان ابتكارًا بشريًا مدهشًا. فالتخفيف من كرب سرعة الزوال يتطلب استخدام مسكِّن ذي مفعول وديمومة لا نظير لهما، وهو أمر مستحيل تحقيقه في العالم الحقيقي للأشياء المادية.

من الطبيعي أن تجد صورة أسلافنا الأقوياء الجاثمين على السافانا في حالة شلل ناتج عن القلق صعبة الاستيعاب. ومع ذلك، من خلال تجارب نفسية اجتماعية بارعة، ذهب الباحثون إلى أنه حتى في عصرنا الحديث من الواضح أننا نتأثر بالوعي بالفناء، حتى عن غير قصد. في إحدى هذه التجارب، كُلِّفَ قضاة محكمة في أريزونا بالتوصية بغرامة لمتهمين بارتكاب جنحة. وفي التعليمات المكتوبة التي زُوِّدَ القضاة بها، والتي تضمّنت استبيانًا قياسيًا لسمات الشخصية، طُرح على نصفهم بضعة أسئلة إضافية تتطلب التفكير في وفاتهم (على سبيل المثال، ما هي المشاعر التي يثيرها التفكير في موتك؟). توقّع الباحثون أنه نظرًا إلى أن المدوَّنة القانونية هي جزء من جهود المجتمع المتضافرة لتأكيد السيطرة على واقع فوضوي -يمثل حصنًا ضد الأخطار الكامنة وراء حدود الحضارة- فإن هؤلاء القضاة الذين جرى تذكيرهم بالخطر النهائي، زوالهم هم أنفسهم، سيطبقون القانون بصرامة. كانت التنبوءات صحيحة تمامًا. لكن حتى الباحثين

دُهشوا بشدة من حجم التباين في الغرامات التي أوصت بها مجموعتا القضاة. ففي المتوسّط، بلغت الغرامات التي أصدرها القضاة الذين ذُكِّروا بالموت تسعة أضعاف الغرامات التي فرضتها المجموعة الضابطة[22].

وكما يؤكد الباحثون، إذا كان العقل القضائي المدرَّب بجدية والمنغمس في معيار الإنصاف النزيه يمكن أن يتأثر بشدّة من خلال تسليط قدر يسير من الضوء الواعي الإضافي على الموت، يجدر بنا أن نتمهّل قبل أن نتجاهل أي تأثير مشابه، ولكن خفيّ بالمثل، يعتمل داخل كل منّا. وفي الواقع، أثبتت المئات من الدراسات اللاحقة (التي تتسم بالتنوع في أفراد الدراسة، وبلدانهم الأصلية، ومهمّاتهم المزعومة، والطريقة التي يتم بها تحفيز الوعي بالموت، وما إلى ذلك) أنه يمكن قياس هذه التأثيرات وتجسيدها على نطاق واسع، من حجرات التصويت، إلى التحيز ضد الأجانب، إلى التعبير الإبداعي والانتماء الديني[23]. ويؤكد بيكر أن الثقافة تطورت جزئيًا للتخفيف من الآثار المنهكة المحتملة التي قد تصاحب الوعي بالموت، وتدعم الدراسات هذا الرأي أيضًا. ووفقًا لذلك المنظور، إذا كنت تسفّه هذا الاحتمال، فذلك يعني أن الثقافة تقوم بعملها.

يرفض باسكال بوير، الذي بدأنا معه مناقشتنا حول الجذور التطورية للدين، هذا الدور للدين، مُشيرًا إلى أن «العالم الديني غالبًا ما يكون مرعبًا مثله مثل العالم الخالي من الحضور الخارق للطبيعة، وكثير من الأديان لا تسبب الطمأنينة بقدر ما تسدل غطاء سميكًا من الكآبة»[24]. ولكن بدلًا من أن يستحضر الحسّ الديني فكرة الموت، كما يرى أتباع بيكر، وبعيدًا عن إلقائه ظلالًا قاتمة على أتباعه المخلصين، كما تصوّر بوير، ربما وفر هذا الحس فائدة أكثر تواضعًا لمريض أقل اغتمامًا. فربما ألقت الأنشطة الدينية القديمة ضوءًا خافتًا على الموت ووضعت الخبرة اليومية ضمن سرد أكثر ديمومة؛ وهي نتيجة مفيدة للخبرة الدينية التي وصفها ويليام جيمس بأنها توفر «ضمانًا للسلامة ومزاجًا من السلام» بينما تغرس «حماسةً جديدةً بمثابة هدية إلى الحياة، وتأخذ شكل الافتتان الغنائي أو استدعاء الجدية والبطولة»[25].

من الواضح أنه لا يوجد إجماع حتى الآن على سبب نشوء الدين أو سبب استمراره. ولا يرجع هذا إلى نقص في الأفكار: استيعاب الأدمغة التي يحابيها الانتخاب الطبيعي، الحَثّ على تماسك المَجموعة، تهدئة القلق الوجودي، حماية السمعة وفرص التكاثر. قد يكون السجلّ التاريخي متقطّعًا للغاية بحيث يتعذّر علينا صياغة صورة نهائية، وقد يلعب الدين أدوارًا شديدة التنوع بحيث يتعذّر إخضاعه لتفسيرات شاملة. ما زلت منحازًا إلى ارتباط الدين بإقرارنا الفريد بحياتنا المحدودة، الذي لخَّصه ستيفن جاي جولد بقوله: «سمح لنا الدماغ الكبير بمعرفة... حتمية موتنا الشخصي»[26]، و«كل دين

بدأ عن طريق الوعي بالموت»[27]. غير أن مسألة ما إذا كان الدين قد ترسَّخ بعد ذلك لأنه حَوَّل هذا الوعي إلى مزية تكيفية أم لا، مسألة مختلفة تمامًا.

يسمح النظام الرائع للدماغ بتوليد أفكار وأفعال غزيرة، بعضها مرتبط مباشرة بالبقاء، والبعض الآخر ليس كذلك. وفي الواقع، هذه القدرة تحديدًا، ذخيرتنا السلوكية الواسعة، هي التي توفر الأساس لتنوع أشكال الحرية البشرية التي ناقشناها في الفصل الخامس. والأمر المؤكد هو أننا خلال هذه الأفعال ظللنا محتفظين بالدين معنا على نحو راسخ، وطوَّرناه عبر آلاف السنين إلى مؤسسات تؤثّر على الكوكب بأسره.

صورة عامة للجذور الدينية

خلال الألفية الأولى قبل الميلاد، وفي كل من الهند والصين ومنطقة يهودا، أعاد مفكّرون مثابرون ومبدعون فحص الأساطير القديمة وطرق الوجود، ونتج عن هذا، من بين تطورات أخرى، ما وصفه الفيلسوف كارل ياسبرز بأنه «بدايات أديان العالم، التي لا يزال البشر يعيشون وفقها»[28]. يناقش المفكّرون درجة الارتباط بين هذه التطوّرات البعيدة، لكن هناك اتفاقًا على النتيجة. فقد أصبحت المنظومات الدينية منظَّمة بشكل متزايد حيث وضع أتباعها القصص، واستخلصوا الرؤى الثاقبة، وصاغوا توجيهات نقلها شفويًا أنبياءُ مبارَكون من جيل إلى جيل، واكتسب كل هذا طابع القداسة. هناك تباين كبير في محتوى النصوص الناتجة بالطبع، لكنها تشترك في الافتتان بالأسئلة ذاتها التي توجّه استكشافنا في هذه الصفحات: من أين أتينا؟ وأين نحن ذاهبون؟

من أقدم السجلات المكتوبة الباقية نصوص الفيدا، المؤلّفة باللغة السنسكريتية في شبه القارة الهندية، ويعود تاريخ بعض أجزائها إلى العام 1500 قبل الميلاد. وبالترافق مع نصوص الأوبانيشاد، وهي عبارة عن مجموعة غنية من التعليقات المكتوبة على الأرجح في وقت ما بعد القرن الثامن قبل الميلاد، تُعد الفيدا مجموعة ضخمة من الآيات والتراتيل والنثر، تشكّل النصوص المقدسة لما سيصبح الديانة الهندوسية، التي يمارسها الآن شخص من كل سبعة أشخاص على وجه الأرض، أي نحو 1,1 مليار نسمة. وقبل أن أبلغ من العمر عشر سنوات، تعرّفت بصورة شخصية على هذه الأعمال.

كان ذلك في أواخر الستينيات. وكانت قضايا السلام والحب وحرب فيتنام تخيم على الأجواء بينما كنت أسير برفقة أبي وشقيقتي ذات يوم مشمس مشرق عبر حديقة سنترال بارك. توقّفنا مؤقتًا عند مبنى ناومبرغ باندشيل بالقرب من ممشى الشعراء، حيث كان جمع كبير من أتباع حركة هاري كريشنا يقرعون الطبول ويهتفون ويرقصون. كان أحد الأتباع، بعينين منتفختين تتدفّق منهما الدموع، يعبر عن تواصل نجمي مشبوب

بالعاطفة من خلال الانتفاض على الإيقاع وهو يحدّق بتركيز في الشمس. كان الأمر صادمًا، بالنسبة لي على الأقل، حينما أدركت فجأة أن أحد عازفي الطبول، وكان يرتدي رداءً منسدلًا وله رأس حليق باستثناء خصلة واحدة أعلاه، هو شقيقي. كنت أظن أنه يدرس في كلية بعيدة. ويبدو أن النزهة كانت طريقة والدي لتعريفنا بالاتجاه الجديد الذي سلكته حياة شقيقي.

في العقود التالية، كان التواصل مع شقيقي متقطّعًا، ولكن في كل لقاء كانت نصوص الفيدا حاضرة، إما بصورة محورية أو ثانوية. من الصعب تحديد ما إذا كانت اهتماماتي قد تشكلت نتيجة هذه اللقاءات أم نتيجة المحادثات الطبيعية من أشقّاء يتناولون أسئلة مماثلة من منظورات شديدة الاختلاف. وبالتأكيد كان التعرف على التأملات القديمة وغير المألوفة بالنسبة لي في الأصول الكونية تجربة ثرية: «لم يكن ثمة عَدم أو وجود حينها، لم يكن هناك عالم من الفضاء ولا السماء التي وراءه. ما الذي تحرّك؟ أين؟ وفي حماية مَن؟ أكانت هناك مياه عميقة بلا قاع؟ لم يكن ثمة موت ولا خلود. لم تكن ثمة علامة مميّزة لليل أو النهار. تنفّس هذا العالم، في هدوء، بدافع من ذاته. بخلاف ذلك لم يكن ثمة ما هو أبعد»[29]. تأثرتُ بعمومية حاجة الإنسان إلى الشعور بإيقاعات الواقع. لكن بالنسبة إلى شقيقي، كانت الفيدا أكثر من ذلك. فقد قدّمت رؤية أكبر لعلم الكونيات الذي كنت أدْرُسه رياضيًا. من منظور الشعر، تجسّد الكلمات في براعة لغز بداية البداية. ومن منظور المجاز، تتحدّث النصوص عن الطبيعة المحيّرة للزمن قبل أن يوجد الزمن. ومن المنظور التأمّلي، الذي يشبه الالتفاف الجماعي حول نار مضطرمة تطوّقها ظُلة غامضة تثير الوجل لكنها حالكة السواد ومرصّعة بالنجوم، تنقل السطور التناقض الظاهري المتمثّل في وجود الكون من الأساس. بيد أن الترانيم والآيات القديمة، والقصص الخيالية لبوروشا (الذات الكونية) ذات الألف رأس التي قُطِّعَت أوصالها كي تشكل الشمس والأرض والقمر، بالإضافة إلى العديد من القرابين النبيلة والمثيرة الأخرى، لا تفسر أصل الكون. تعكس الكلمات عقولنا الباحثة عن الأنماط، والشغوفة بالتفسير، والمتناغمة مع البقاء على قيد الحياة، وهي تطوّر قصة حيّة كي تقدم إطارًا رمزيًا للعيش؛ كيف أتينا إلى الوجود، وكيف ينبغي أن نتصرف، وتبعات أفعالنا، وطبيعة الحياة والموت. وما أضحى واضحًا لي من خلال هذه اللقاءات الأخوية المتفرقة هو أن الفيدا تبحث عن شيء مستقرّ، صفة راسخة من نوع ما تكمن وراء الرمال المتحرّكة للواقع المألوف. وهذا وصف يمكنني أن أستخدمه أنا والعديد من زملائي في توصيف مسيرة الفيزياء الأساسية. تشترك التخصصات في رغبة مشتركة برؤية ما وراء المظاهر المتاحة للخبرة اليومية. ومع ذلك، فإن طبيعة التفسيرات التي يرى كل تخصص أنها قادرة على دفع هذه المسيرة مختلفة تمامًا.

في منتصف القرن السادس قبل الميلاد، أصيب سيدهارثا جوتاما، الأمير المولود في نيبال الحالية والذي درس نصوص الفيدا في صباه، بالحيرة لأن حياة الرفاهية التي عاشها تعارضت مع الألم الذي يعاني منه أولئك الذين يعيشون الحياة العادية. وبحسب ما تذهب إليه القصة الشهيرة، فقد قرّر جوتاما التخلّي عن امتيازاته وطفق يجوب العالم بحثًا عن طريقة للتخفيف من بؤس المعاناة الإنسانية. وتشكّل الرؤى الناتجة، التي طوَّرها ونشرها أتباعه بعد وفاته بالأساس الديانة البوذية، التي يعتنقها الآن شخصٌ من بين كل اثني عشر شخصًا على كوكب الأرض، أي نحو نصف مليار شخص. ومع انتشار الفكر البوذي، نشأت طوائف عديدة، لكنها جميعًا تشترك في الإيمان بأن الإدراك هو دليل خادع للواقع. فهناك صفات للعالم قد تبدو مستقرة، ولكن في الحقيقة كل الأشياء تتغيّر دائمًا. حادت البوذية عن أصولها الفيدية، وأنكرت وجود ركيزة أساسية ثابتة يقوم عليها الوجود، وتنسب جذور المعاناة الإنسانية إلى الفشل في الإقرار بأن كل شيء وقتي وعابر. ترسم تعاليم بوذا الخطوط العريضة لطريقة حياة تِعد بنظرة غير مبهرجة وأكثر وضوحًا للحقيقة، وكما هو الحال مع الفيدا، فإن الطريق إلى مثل هذا التنوير يتضمّن سلسلة من الولادات الجديدة، والهدف النهائي هو محاولة إنهاء دورات التناسخ من خلال الوصول إلى حالة النعيم الأبدية التي تتجاوز الرغبة، وتتجاوز المعاناة، وتتجاوز الذات. إذا كان تخيّل البشرية السابق لعوالم استمرت فيها الحياة إلى ما بعد هذه الحياة مناورة ذهنية مدهشة لمعالجة لغز الفناء، فإن المواقف الهندوسية والبوذية أكثر إدهاشًا؛ إذ يُعاد تصوّر الموت كبداية جديدة في عملية دورية هدفها الأساسي التحرر النهائي والدائم من الحياة. ويقودنا اختتام هذه الدورات إلى نطاق يختفي فيه مفهوم الوجود المنفصل. وتصير حياتنا العابرة طقسَ عبور مقدسًا في طريقنا إلى الأبدية.

نظرًا إلى أن الهندوسية والبوذية تسعيان إلى واقع يتجاوز أوهام الإدراك اليومي، وهو وصف ينطبق أيضًا على العديد من التطوّرات العلمية الأكثر إثارة للدهشة في المائة عام الماضية، فقد أنتجت صناعةٌ صغيرة مقالاتٍ وكتبًا وأفلامًا تهدف إلى إقامة روابط مع الفيزياء الحديثة. وفي حين يمكن للمرء أن يجد أوجه تشابه في المنظور واللغة، إلّا أنني لم أصادف أكثر من توافق مجازي بين أفكار متمايزة مُفَسَّرة بشكل مبهم. إن أوصاف الفيزياء الحديثة المقدَّمة في الشروحات العامة، الشروحات التي أكتبها أنا وغيري، عادة ما تتغافل عن الرياضيات وتستعيض عنها بسرد يسهل استيعابه، ولكن ما من شك في أن الرياضيات هي أساس العلم. والكلمات، مهما اختيرَت وصيغَت في عناية، ليست سوى ترجمة للمعادلات. ولن يرقى استخدام مثل هذه الترجمات كأساس للتواصل مع التخصّصات الأخرى أبدًا إلى مستوى أعلى من مستوى التحالف الشعري.

هذا الحكم متوافق مع بعض الأصوات الرائدة في التخصّصات الروحية على الأقل. قبل بضع سنوات، دُعيت للمشاركة في منتدى عام مع الدالاي لاما. وخلال المناقشة، تحدّثتُ عن وفرة الكتب التي تشرح كيف أن الفيزياء الحديثة تلخّص الاكتشافات التي جرت في الشرق الأقصى منذ آلاف السنين، وسألت الدالاي لاما عما إذا كان يعتبر هذه الادعاءات صحيحة. تركت إجابته الصريحة انطباعًا كبيرًا لدي، إذ قال: «عندما يتعلق الأمر بالوعي، لدى البوذية شيء مهم لتقوله. لكن عندما يتعلق الأمر بالواقع المادي، فنحن بحاجة إلى التطلع إليك وإلى زملائك. أنتم من تتغلغلون بعمق»[30]. وأذكر أنني فكرت كم سيكون من الرائع أن يقتدي القادة الروحيون والدينيون في جميع أنحاء العالم برأيه البسيط والجَسور والأمين.

خلال نفس العصر تقريبًا الذي جاب بوذا فيه الهند، تعرض الشعب اليهودي في مملكة يهوذا للهزيمة على يد البابليين وأجبروا على النفي. وفي محاولة لتدوين هويتهم، جمع القادة اليهود روايات مكتوبة متباينة وأشرفوا على تسجيل التاريخ الشفوي، مما أسفر عن نسخ مبكرة من الكتاب المقدس العبري؛ وهي وثيقة ستواصل التطور وتصبح نصًا مقدّسًا للأديان الإبراهيمية، التي يعتنقها الآن أكثر من شخص من بين كل شخصين على وجه الأرض، أي نحو أربعة مليارات شخص[31]. إن الإله في اليهودية والمسيحية والإسلام هو الخالق القادر، العليم، الفريد، الموجود في كل مكان، وهو تصور يجسد، في نظر الكثيرين حول العالم، الصورة المهيمنة التي يستحضرونها عند الحديث، العلماني أو المقدّس، عن الدين.

يروي العهد القديم قصة الأصل المعروفة على نطاق واسع. حسنًا، هو يحكي قصتين في الواقع. تستغرق القصة الأولى ستة أيام، وتبدأ بتكوين السماوات والأرض وتنتهي بخلق الرجل والمرأة، والثانية تشغل يومًا واحدًا فقط، وفيها خُلق الإنسان في بداية اليوم، وخلال غفوته الأولى دخلت المرأة المشهد. وسرعان ما يتبع ذلك جيل بعد جيل، لكن العهد القديم لا يوضح بصورة مباشرة أين يذهب الأبطال عندما يموتون. وباستثناء بضع إشارات موجزة عن القيامة، لا يوجد التزام بوجود حياة آخرة. طوَّر المتصوّفة والمفسّرون اليهود بعد ذلك أفكارًا عديدة تتضمن أرواحًا خالدة تسكن عالمًا آخر، لكن لا يوجد تفسير واحد يوفّق بين المصادر والتعليقات العديدة. وبعد نصف ألفية، زال هذا الغموض عندما طوّرت المسيحية عقيدة لاهوتية تعجّ بالأرواح الأبدية التي تحافظ على هوياتها إلى ما بعد حياتها على الأرض. وبعد نصف ألفية أخرى، قدَّم الإسلام مجموعته الواسعة من المعتقدات التي تتناول موضوعات مماثلة، مُتفقًا مع المسيحية في تبجيلها ليوم الدينونة الذي يقترب، وفيه يُبعَث الموتى، ويُكافأ الصالحون بحياة أبدية في الجنة، بينما تحل اللعنة الأبدية على من سواهم.

يعتنق أكثر من ثلاثة أرباع سكان كوكب الأرض تلك الحفنة القليلة من الأديان التي استعرضناها سريعًا. وفي ضوء وجود مليارات الأتباع، تتباين طبيعة وأسلوب المشاركة الدينية تباينًا كبيرًا، وإذا قمنا بتضمين أكثر من أربعة آلاف ديانة صغيرة تُمارَس حاليًا في جميع أنحاء العالم، فإن نطاق الالتزامات وتفاصيل المحتوى العقائدي سيتسع أكثر وأكثر. ومع ذلك، فهناك صفات مشتركة، مثل الشخصيات المرموقة التي رأت ما لا يراه غيرها أو وُهبَت القدرة على معرفة القصص التي تفسّر كيف بدأ كل شيء، وكيف سينتهي، وإلى أين سنذهب جميعًا، وأفضل طريقة للوصول إلى هناك. والأعمق من هذا أنه لا يزال يوجد توقّع سائد مفاده أن أتباع هذه الديانات سوف يكتسبون عقلية مقدسة. إن العالم مليء بالقصص التي يمكن أن تعرّفنا كيف نعيش. والعالم مليء بالقواعد التي يمكن أن توجّه سلوكنا. وتلك القصص والقواعد المرتبطة بالعقيدة الدينية تكتسب مكانة أعلى من غيرها لأنها في ذهن المؤمنين تظهر شكلًا ما من أشكال الإيمان.

الدافع الفطري إلى الإيمان

قبل بضع سنوات، بينما كنت في الأيام الأخيرة الفوضوية لمشروع مستنزِف بالكامل، وصلتني دعوة لإلقاء كلمة رئيسية أمام أحد التجمّعات في ولاية واشنطن. كنت مشتت الذهن، وقبلت الدعوة دون التحقّق جيدًا من هوية المنظمة. وبعد بضعة أشهر، عندما اقترب موعد إلقاء الكلمة، أدركتُ أن من المقرر أن أتحدّث في مدرسة رامثا للتنوير، وهي منظمة تتزعمها جودي زيبرا نايت، التي تدعي أنها تتواصل مع المحاربة رامثا التي عاشت منذ خمسة وثلاثين ألف سنة في أرض ليموريا المفقودة (والتي، على ما يبدو، كانت في حالة حرب متكرّرة مع قارة أطلنطس المفقودة). أظهر بحث سريع عددًا من مقاطع الفيديو، بما في ذلك مقطع من حلقة قديمة من برنامج *The Merv Griffin Show*، تقوم فيها نايتي بإمالة رأسها إلى الخلف، ثم إلى الأمام على نحو مباغت، وتدخل في غشية، وينخفض صوتها، وتتحدّث بأسلوب وسيط بين يودا والملكة، وتريد منا أن نصدق أنها تجسّد الحكيمة الليمورية. حاولت ابنتي الصغيرة، التي كانت تراقب من وراء كتفي، جاهدةً ألّا تضحك. لكنها فشلت. كنت سأضحك أيضًا لو لم يكن الخجل يغمرني بسببِ قبولي الدعوة. لكن كنا في اليوم السابق على الكلمة، وفات أوان التراجع بشكل مهذَّب.

عند وصولي، كان أول لقاء لي مع مئات من الأشخاص معصوبي الأعين، يمدّون أذرعهم إلى الأمام، ويبحثون في أرجاء حظيرة عشبية مسيّجة كبيرة. أوضح دليلي أن ثمة بطاقة مثبتة على كل واحد منهم مكتوب عليها حلم حياته، ويتمثّل التمرين في أن

«يتحسس» المرء طريقه نحو بطاقة مطابقة تم وضعها في مكان ما في الحقل. وأشار إلى أن النجاح يُعد خطوة أساسية نحو ضمان تحقيق الحلم. سألته: «كيف يسير الأمر؟»، فأجاب: «آه، رائع. في هذه الجلسة، عثرت إحدى المشاركات على بطاقتها المطابقة بالفعل». بعد ذلك رأيت رماة معصوبي الأعين. حافظت على مسافة كافية بيني وبينهم ورفضت طلبات المشاركة، خاصة عندما لاحظت أن مصوِّرًا قد انضمَّ إلى الجولة بهدوء. لم يحقّق الرماة المعصوبو الأعين نجاحًا أكثر من الباحثين المعصوبي الأعين. وأخيرًا، انضمَّت إليّ امرأة شابة، ربما في العشرينيات من عمرها أو الثلاثينات، وكانت موهبة التخاطر التي تتمتع بها تتيح لها تخمين أوراق متتالية في مجموعة من أوراق اللعب. توقعَت: «سبعة ديناري». «اللعنة، إنها ستة سباتي. لكنني كنت بعيدة برقم واحد فقط. تسعة بستوني. أوه، إنها ثلاثة ديناري. آها، ها هي ورقة الديناري». واستمر الأمر على هذا النحو. أخبرتني أنها تتدرب على الأمر عدة ساعات كل يوم وتعلم أنها بحاجة إلى تدريب أكثر.

بالنسبة إلى أولئك الذين اجتمعوا حولي وقتها، وفي وقت لاحق خلال إلقائي الكلمة الرئيسية، لم يسعني سوى تقديم بعض الملاحظات الأساسية، تطرقنا إلى كثير منها في هذه الصفحات. أوضحت أننا نوع ينظر إلى العالم ويرى أنماطًا. وهذا أمر طيب في الغالب الأعم. فعلى مدى أجيال عديدة، أمدَّنا الانتخاب الطبيعي بالقدرة على تحديد الأنماط المتعلقة بالكيفية التي يبدو عليها شكل وحركة الأشخاص والأشياء، مما يمكننا من التعرف عليها بسرعة عبر عدد قليل من الإشارات المرئية. ونحن نرصد أنماطًا في سلوك الحيوانات، مما يمكننا من توقع متى يكون الاقتراب منها آمنًا ومتى يكون من الأفضل الابتعاد عنها. كما نرصد أنماطًا في الكيفية التي تطير بها أشياء مثل الصخور والرماح عند رميها، وهي قدرة كانت مفيدة بشكلٍ خاص لأسلافنا الساعين إلى تأمين الوجبة التالية. ومن خلال النمط، نطور وسائلَ للتواصل ومن ثم نشكل مجموعات -من القبائل إلى الدول- تمارس أقوى التأثيرات في العالم. باختصار، القدرة على إدراك الأنماط مساوية للقدرة على البقاء. واصلت حديثي قائلًا إننا نبالغ في الأمر أحيانًا. ففي بعض الأحيان، تكون كواشف الأنماط التي أمدَنا بها الانتخاب الطبيعي شديدة التأهب، ومستعدة بقوة للإعلان عن العثور على إشارة، إلى درجة أنها ترى أنماطًا وتتصور علاقات ارتباط لا وجود لها. وأحيانًا نعزو معنى إلى أشياء عديمة المعنى. نحن نعلم من الرياضيات الأساسية أن احتمالية تخمين المرء لشكل ورقة اللعب الصحيح هي واحد إلى أربعة، واحتمالية تخمين العدد أو الصورة هي واحد إلى ثلاثة عشر. بيد أن هذا النمط لا يكشف شيئًا عن القدرة التخاطرية. ويندر بشدة أن

تسير في حقل مفتوح وتجد البطاقة المطابقة لبطاقتك، لكن هذا لا يقول شيئًا عن تحقيق الأحلام. وسألت الحضور: كم مرة تلاحظون أن ثمة صدفة لافتة لم تحدث؟

همهم الحاضرون، المحتشدون الآن في حظيرة تشبه الكهف، معربين عن موافقتهم. ووقف الكثيرون منهم وهم يصفقون، وهو أمر موضع تقدير ولكنه محيّر كما قلت للحاضرين. إنني أقول لكم إن نهجكم لإيجاد حقيقة أعمق، والأساليب التي تمارسونها عديما النفع. تصفيق آخر.

في وقت لاحق، عند توقيع الكتب، أوضح عدد من المشاركين، همسًا، الأمر لي قائلين: «كثيرون منا لا يصدقون الكثير من الأشياء التي تحدث هنا، ومن المهم أن يصرّح أحدهم بذلك علانية. ولكن ثمة شيء آخر، يمكننا أن نشعر به، ونحن نأتي إلى المنظمة لأننا نحتاج إلى أن نكون برفقة آخرين لديهم نفس الرغبة في البحث عن حقيقة أعمق». يمكنني أن أتفهَّم هذا. فأنا أفهم الدافع. إن تاريخ الفيزياء عبارة عن مجموعة من الحوادث التي كشفت فيها الاستكشافات الرياضية والتجريبية البطولية مرارًا وتكرارًا أن هناك شيئًا آخر؛ وغالبًا ما يكون هذا الشيء غريبًا ومدهشًا ويتطلب منا إعادة صياغة تصورنا للواقع. وثمة أسباب وجيهة تدفعنا إلى الاعتقاد بأن فهمنا الحالي، حتى مع قدرته على تفسير البيانات الوفيرة بدقة خارقة، فهمٌ مؤقت، ولذا نتوقع نحن الفيزيائيون أن يتكرر إيقاع المراجعة هذا عدة مرات من الآن فصاعدًا. ومع ذلك، فقد صقلنا أدواتنا الاستقصائية عبر قرون من الجهد، وهذه هي الأساليب الرياضية والتجريبية التي تشكّل الهيكل الصارم للممارسة العلمية. وهي الأساليب التي ننقلها إلى طلابنا وزملائنا في البحث. والأساليب التي أثبتت قدرتها على الوصول بشكل موثوق إلى صفات خفية للواقع.

أنا منفتح على المزاعم غير التقليدية. وإذا تبين أن البيانات المأخوذة من تجارب مصممة بعناية وقابلة للتكرار تستقصي، مثلًا، القدرة على استشعار أوراق اللعب المخفية داخل مجموعة، تعطي نتائج أفضل من الصدفة العشوائية، أو إذا أثبتت البيانات الموثوق بها أن أحد أفراد نوعنا تمكّن من الاتصال بحكيمة قديمة عاشت في أرض مفقودة منذ فترة طويلة، سأكون مهتمًا بالأمر. وسأهتم للغاية. ولكن في غياب مثل هذه البيانات، وفي غياب أي سبب مهما كان يدفعنا إلى توقع الظهور الوشيك لمثل هذه البيانات، وفي غياب أي حجّة تبين أن هذه الادعاءات لا تتناقض مع كل ما نعرفه بوضوح عن الكيفية التي يعمل بها الواقع، سريعًا ما ستأتي نقطة يجب أن نخلص فيها إلى أنه لا يوجد أساس للإيمان بأي من هذه المزاعم.

وهذا يطرح سؤالًا: هل هناك أي أساس للإيمان بكيان قادر وغير مرئي خلق الكون، ويستمع إلى صلواتنا ويستجيب لها، ويتتبع ما نقوله ونفعله، ويوزّع المكافآت والعقوبات؟ في محاولة الوصول إلى إجابة، من المفيد استكشاف مفهوم الإيمان بشكل أوفى.

الإيمان، والثقة، والقيمة

معظم مَن يسألونني عن إيماني بوجود إله يستخدمون كلمة «الإيمان» بالطريقة نفسها التي يستخدمونها عند سؤالي عن إيماني بميكانيكا الكَمّ. في الواقع، غالبًا ما يُطرح عليّ السؤالان واحدًا تلو الآخر. وأنحو عادة إلى تأسيس جوابي على مفهوم الثقة -باعتبارها مقياسًا لليقين- مُشيرًا إلى أن ثقتي بميكانيكا الكم عالية؛ لأن النظرية تتنبأ بسمات العالم، مثل العزم الثنائي القطب للإلكترون، بدقة تتجاوز تسعة منازل عشرية، وهو ما لا أستطيع تأكيده بخصوص الإله؛ بسبب ندرة البيانات الداعمة الدقيقة. وكما توضح هذه الأمثلة فإن الثقة تنشأ من الحُكم النزيه، القائم على الخوارزميات الرياضية في الغالب، وعلى الأدلة.

وفي الواقع، عندما يحلل الفيزيائيون البيانات ويعلنون عن نتيجة، فإنهم يقيسون ثقتهم باستخدام إجراءات رياضية راسخة. ولا تُستخدَم كلمة «اكتشاف» عمومًا إلّا عندما تتجاوز الثقة حدًّا رياضيًّا: إذ يجب أن تكون احتمالية التضليل بسبب المصادفة الإحصائية في البيانات أقل من واحد في كل 3,5 ملايين (وهو رقم يبدو عشوائيًّا لكنه ينتج بصورة طبيعية عن التحليلات الإحصائية). وبالطبع، حتى هذه المستويات العالية من الثقة لا تضمن أن «الاكتشاف» صحيح. وقد تلزمنا البيانات الواردة من تجارب لاحقة بتعديل ثقتنا، وفي هذه الحالة أيضًا، توفر الرياضيات الخوارزمية لحساب التحديث.

في حين يطبّق قليلون منا مثل هذه الأساليب الرياضية، فإننا نصل إلى الكثير من معتقداتنا من خلال عملية تفكير مشابهة لكنها أقل تحليلًا. فنحن نرى جاك وجيل، ونتساءل عما إذا كانا زوجَيْن، ونراهما معًا مرارًا وتكرارًا، وتزداد ثقتنا في هذا الاستنتاج. ثم نعلم لاحقًا أن جاك وجيل شقيقان، ولذا نستبعد تقييمنا السابق. ويسير الأمر على هذا المنوال. إنها عملية تكرارية لك أن تتوقّع أنها ستنتج اتفاقًا حول المعتقدات التي تعكس الطبيعة الحقيقية للعالم. لكن ليس الحال كذلك بالضرورة. فالتطور لم يشكل عملياتنا الدماغية بحيث تكوّن معتقدات تتّفق مع الواقع، وإنما شكلها بحيث تفضِّل المعتقدات التي تولد سلوكيات تعزِّز البقاء. ولا يلزم أن يتطابق الاعتباران. إذا تحقّق أسلافنا بعناية من كل حفيف وهسيس لفت انتباههم، لوجدوا أن من الممكن تفسير معظمها من دون استدعاء عامل إرادي. ولكن من وجهة نظر الصلاحية التكيفية، فإن استثمارهم المرهق في البحث عن الحقيقة ما كان ليثمر الكثير. وعبر عشرات الآلاف من الأجيال، تحاشت أدمغتنا الدقة الأكبر وفضلت الفهم التقريبي والجاهز. وغالبًا ما تفوقت الاستجابات السريعة على التقييمات المدروسة. فالحقيقة شخصية مهمة في دراما الإيمان، لكن من السهل أن يطغى عليها البقاء والتكاثر.

ما زاد الأمر تعقيدًا أن التطور أضاف شخصية أخرى: المشاعر. في العام 1872، بعد أكثر من اثني عشر عامًا من الإعلان عن التطور عن طريق الانتخاب الطبيعي، نشر داروين كتاب «التعبير عن المشاعر في الإنسان والحيوان» *The Expression of the Emotions in Man and Animals*، واستكشف فيه قناعته بأن الدماغ المتكيّف بيولوجيًا، وليس الثقافة، هو المحرك الأساسي للتعبير الشعوري. وعلى سبيل المثال، أوضح داروين، بالاعتماد على الملاحظات الدقيقة لأطفاله، والاستبيانات التي وُزِّعَت على نطاق واسع، والبيانات الواردة من ثقافات متعدّدة والتي جمعها خلال رحلاته الطويلة، أن الميل إلى الابتسام عندما يكون الفرد سعيدًا أو احمرار الوجه خجلًا عندما يكون مُحرَجًا أمرًا عامًّا. ويمكنك أن تجد تلك الاستجابات ظاهرة بوضوح في مختلف ثقافات العالم. وخلال القرن ونصف القرن التالي على ذلك، حذا الباحثون حذو داروين وبحثوا عن الأدوار التكيفية التي من الممكن أن تفسر المشاعر البشرية المختلفة بالإضافة إلى دراسة المنظومات العصبية التي ربما تكون مسؤولة عن توليدها. وأظهر البحث أن الخوف شعور أساسي بالفعل؛ فمنذ البداية كانت هناك قيمة تكيفية كبيرة للاستجابات السلوكية والفيسيولوجية السريعة للخطر. من المرجح أن يكون الحب الأبوي، الذي يحفّز الرعاية الأساسية للذرية عديمة الحول والقوة، أحد التكيفات القديمة أيضًا. كما أن مشاعر الإحراج والذنب والخزي، التي لها صلة خاصة بالسلوك المواتي داخل المجموعات الأكبر، هي تكيفات من المرجح أنها ظهرت لاحقًا مع نمو أحجام المجموعات[32]. ما يهمنا هنا هو أنه مثلما شكل الضغط التكيفي امتلاك اللغة، ورواية القصص، وصنع الأساطير، وممارسة الطقوس، وإبداع الفن، والعقل البشري الساعي للعلم، فإن الضغط التكيفي شكل أيضًا قدراتنا الشعورية الثرية. فالمشاعر جزء لا يتجزأ من نمونا التطوري في جميع مراحله. وهكذا نبعت المعتقدات من عملية حساب معقدة تجمع بين التحليل والاستجابات الشعورية داخل عقل يكتسب موهبة البقاء[33].

تعتمد حسابات معتقداتنا أيضًا على طيف من العوامل، تشمل التأثيرات الاجتماعية، والقوى السياسية، والنفعية الغاشمة. في وقت مبكر من حياة المرء، يكون الإيمان متأثّرًا بشدة بالسلطة الأبوية. هل تقول أمي أو أبي إن هذا صحيح؟ إذًا فهو صحيح. وذكر ريتشارد دوكينز أن الانتخاب الطبيعي يحابي الآباء الذين ينقلون إلى أطفالهم معلوماتٍ تحسّن فرص البقاء، ومن ثم فإن تصديق ما تقوله الأم أو الأب له معنى تطوري. في وقت لاحق، يبدأ الكثيرون عملية بناء معتقداتهم الخاصة -عن طريق التقصّي والمناقشة والقراءة والتحدي- وتكون العملية في الغالب متأثرة بالتوقّعات الموجودة مسبقًا والتعرض لمعتقدات الآخرين. يوسّع معظمنا أيضًا قائمة السلطات التي نعدّها جديرة

بالثقة؛ كالمعلمين والقادة والأصدقاء والمسؤولين وغيرهم من الخبراء المُعترف بهم. وعلينا أن نفعل ذلك؛ إذ لا يستطيع أحد أن يعيد اكتشاف المعرفة المتراكمة عبر مئات السنين، أو حتى التحقّق من صحتها. رأيت ذات مرة حلمًا، بل كابوس في الواقع، كنت فيه أعيد الدفاع عن أطروحة الدكتوراه الخاصة بي، وأخبرني الممتحن، وهو يضحك بصوت عالٍ، أن جميع التجارب وجميع المشاهدات التي تدعم «قوانين» ميكانيكا الكم في الفيزياء مُلفّقة. لقد كنتُ ضحية مُزحة ثقيلة؛ إذ وقعت ضحية للتضليل من جانب السلطات التي أحترمها ومجتمع الزملاء الذين أثق بهم. وعلى الرغم من أن سيناريو الحلم هذا مستبعد بشدّة، فالحقيقة هي أنني تحققت شخصيًا من النتائج انطلاقًا من مجموعة صغيرة للغاية من التجارب الأساسية. يمكنك القول إنني تقبّلت جُل النتائج على أساس الإيمان.

تنبع ثقتي من عقود من الخبرة المباشرة، إذ شهدت بنفسي كيف يقلل الفيزيائيون من تأثير النزعة الذاتية البشرية عن طريق التركيز على البيانات المتراكمة بعناية، واستقصاء الفرضيات بلا هوادة، وتجاهل جميع الفرضيات باستثناء تلك التي تلبي مجموعة صارمة من المعايير المتفق عليها. ولكن حتى مع هذا الاهتمام الدؤوب، فإن المصادفات التاريخية والتحيّزات البشرية المدفوعة بالمشاعر تجد طرقًا للتسلل. من الممكن إرجاع أحد المناهج السائدة في ميكانيكا الكم (ويُسمى تفسير كوبنهاغن) جزئيًا إلى الشخصيات القوية التي فرضت هيمنتها خلال نشأة النظرية. سأحيلك إلى كتاب آخر لي، هو كتاب «الواقع الخفي» *The Hidden Reality*[(1)]، للاطلاع على مناقشة هذا الأمر، لكنني أعتقد بأنه لو جرى تطوير ميكانيكا الكم على يد مجموعة مختلفة من الشخصيات، لظل العلم الرسمي موجودًا، غير أن هذا المنظور التفسيري الخاص ما كان ليتمتع بنفس المركز المهيمن عبر عقود عديدة. يكمن جمال العلم في أنه من خلال البحث المستمر، يُعاد التفكير بعناية في قواعد كل عصر من جانب العصر التالي، ومن ثَم تقترب أكثر وأكثر من هدف الحقيقة الموضوعية. ولكن حتى بالنسبة إلى تخصّص مُصَمَّم من أجل الموضوعية، فإن الأمر يتطلب خوض عملية. ويستغرق وقتًا.

لا عجب إذًا أنه في العالم الفوضوي العشوائي المشحون بالمشاعر والمثقل عاطفيًا للمغامرات البشرية اليومية، يكون طيف الإيمان واسعًا وخياليًا، وإن كان في بعض الأحيان مربكًا ومحبطًا. فعند تكوين المعتقدات، يتطلّع البعض إلى العلم، في المحتوى والاستراتيجية. ويعتمد البعض على السلطة، والبعض الآخر على المجتمع.

(1) الطبعة العربية صادرة عن دار التنوير.

والبعض يُجبَرون، أحيانًا بصورة خفية، وأحيانًا علانية. ويضع البعض ثقتهم القصوى في التقاليد، في حين يعطي البعض الآخر الأولوية الكاملة للحدس. وفي مراكز المعالجة بالعقل، والتي لا تخضع للمراقبة عمومًا، يستخدم كل منا مزيجًا فريدًا ومتغيرًا للغاية من كل هذه الأساليب. علاوة على ذلك، لا يوجد ما يمنعنا من اعتناق معتقدات غير متوافقة، أو من القيام بأفعال توحي بأننا نقوم بذلك. عن نفسي لا أجد غضاضة في الإقرار بأنني بين الحين والآخر أطرق الخشب أو أتحدّث إلى أشخاص راحلين أو أطلب العون السماوي. لا يتناسب أي من هذا مع معتقداتي العقلانية بشأن العالم، ومع ذلك فأنا راضٍ تمامًا عن ميولي هذه. وفي الواقع، ثمة بهجة معينة في تجاوز القيود العقلانية مؤقتًا.

لاحظ أيضًا أنه في حين يُدفَع المال للفلاسفة المحترفين من أجل فحص وتمحيص الإيمان –للكشف عن الافتراضات الخفية وجذب الانتباه إلى الاستنتاجات الخاطئة– فإن هذا ليس ما يفعله جُلنا الآن، أو ما فعله أسلافنا في الماضي. فالكثير من المعتقدات في حياة البشر لا تخضع للفحص. ربما هذا هو نوع التكيف الخاص بها. فالشخص الغارق في التفكير يميل إلى عدم الانتباه إلى مخزون الطعام أو إلى اقتراب عنكبوت رتيلاء قاتل منه خفية. وهذا يعني أنه عند تقييم الكيفية التي يؤمن بها هذا الشخص أو ذاك بهذا الأمر أو ذاك، فإن تصور الإيمان على أنه نشأ من دراسة مكثفة وتمحيص شامل غالبًا ما يكون بعيدًا عن الواقع. وكما يشير بوير فإننا «نفترض أن مفاهيم العوامل الخارقة للطبيعة... تُقَدَّم إلى العقل وأن ثمة عملية ما من عمليات اتخاذ القرار تقبل هذه المفاهيم لأنها صالحة أو ترفضها». ولكن نظرًا إلى أن هذه الأفكار تتطلّب عمل عدد كبير من مراكز الاستدلال في الدماغ –من رصد الوكالة، إلى نظرية العقل، إلى تتبع العلاقات، وما إلى ذلك– ونظرًا إلى أن الانتخاب الطبيعي قد جهّز هذه المراكز بحيث تجري التشخيصات الخاصة بها دون عتبة الوعي، فإن نموذج القاضي وهيئة المحلفين العقلاني «قد يكون صورة مشوَّهة إلى حد ما للكيفية التي تُكتسَب بها هذه المفاهيم وتُمَثَّل»[34].

حتى الأشياء ذاتها التي يمكن أن يُطَبَّق عليها مفهوم الإيمان من الممكن والمعقول أن تتغيّر من حقبة إلى أخرى. وكما تقول كارين أرمسترونج، فإن أولئك الذين ينفّذون طقوس أسرار إليوسيس القديمة «كانوا سيشعرون بالحيرة إذا سُئلوا عما إذا كانوا يعتقدون أن بيرسيفون قد نزلت حقًّا إلى الأرض، بالطريقة التي وصفتها الأسطورة»[35]. سيكون الأمر مكافئًا للسؤال عما إذا كنت تؤمن بالشتاء. سترد قائلًا: «أؤمن بالشتاء؟ حسنًا، إن الفصول موجودة وحسب». وبالمثل، تتخيل أرمسترونج أن أسلافنا اعتنقوا رحلات بيرسيفون «لأنك أينما نظرت سترى أن الحياة والموت لا ينفصلان، وأن

الأرض ماتت وعادت إلى الحياة مجددًا. كان الموت مخيفًا ومرعبًا وحتميًّا، لكنه لم يكن النهاية. وإذا قطعتَ نبتةً، وألقيت الغصن الميت بعيدًا، فإنه سينبت نَبتًا جديدًا»[36].

لم تكن الأساطير تستجدي الإيمان. ولم تسبب أزمة إيمان حُلَّت عبر التدبر المُضني من جانب ناظريها. بل قدمت الأساطير مخططًا شعريًّا، وعقلية مجازية، أضحت لا تنفصل عن الواقع الذي أضاءته.

ربما يشبه الأمر أيضًا ما يحدث في التطور الطويل المدى للغة الطبيعية[37]. في خضم السعي وراء التأكيد والتعبير الإبداعي، ينثر المتحدّثون الصور المجازية على عباراتهم واحدة تلو الأخرى. لقد فعلتُ هذا للتو، ولكن على الأرجح لاحظت هذا بالكاد. فنحن ننثر الملح على الطبخة، وننثر السكر على المعجنات. ومع ذلك فإن النثر الذي ذكرته هو استعارة مبتذلة تمامًا لدرجة أن من النادر أن تستثير في ذهن القارئ صورة يد تنثر الكلمات بلطف على وليمة من العبارات المخبوزة حديثًا. فبمرور الوقت تُستخدَم الاستعارات بشكل مفرط إلى درجة أن أي صفة شعرية ربما كانت تمتلكها في البداية تتبخر تدريجيًّا (الماء يتبخر، وليس الشعر) وتصبح الكلمات كحمار الشغل لا أكثر (الحمار يقوم بالعمل، وليس الكلمات). في كلمة واحدة، تصير الاستعارات حرفية. ربما تحدث عملية مماثلة مع المفاهيم الدينية الأسطورية. ربما تبدأ هذه المفاهيم كطرق مثيرة وشاعرية ومجازية للنظر إلى العالم، لكنها تفقد روحها الشعرية تدريجيًّا على مدى فترة زمنية طويلة، وتتخلّص من معناها المجازي، وتنتقل إلى الحَرْفية.

أقرب صورة وصلتُ إليها من هذه الحَرْفية هي الإقرار بوجود إله أو آخر. أدرك أنه ليس بمقدور أي شخص أن يستبعد هذا الاحتمال. وما دام تأثير أي إله مُفترَض لا يغير بأي شكل من الأشكال تطور الواقع الذي تصفه قوانيننا الرياضية بصورة وافية، فسيكون متفقًا مع كل ما نرصده. لكن ثمة فجوة هائلة بين الاتفاق وضرورة التفسير. فنحن نستدعي معادلات أينشتاين وشرودنجر، والإطار التطوري لداروين ووالاس، واللولب المزدوج لواطسون وكريك، وقائمة طويلة من الإنجازات العلمية الأخرى، ليس لأنها متفقة مع ملاحظاتنا، وهي كذلك بالطبع، ولكن لأنها توفر بنية تفسيرية قوية ومفصَّلة وتنبُّئية لفهم هذه الملاحظات. ووفق هذا المقياس، لا تحقق العقائد الدينية التوافق، وبالطبع يرى الكثيرون من المؤمنين أن هذا المقياس غير ذي صلة. تتمثّل المشكلة في أن المنظور الحَرفي يحول دون هذا التقييم. والتوكيد الديني الذي يُفسَّر باعتباره ادعاءً حرفيًّا بشأن العالم ويتعارض مع القوانين العلمية الراسخة هو تأكيد خاطئ. الأمر محسوم. وفي مثل هذه الحالات، لا يختلف تبنّي التفسير الحَرفي عن القبول بوجود رامثا.

ومع ذلك، من الممكن أن تظل العقيدة الدينية (أو حتى عقيدة رامثا) جزءًا من الخطاب العقلاني إذا كنا على استعداد للابتعاد عن الحَرْفية، أو انتقاء ما نراه مناسبًا من النصوص، أو تجاهل العناصر التي نجدها مسيئة أو عفًّا عليها الزمن، أو تفسير القصص والعبارات بشكل شعري أو رمزي، أو ببساطة باعتبارها عناصر رواية خيالية. ثمة أسباب عديدة قد تدفعنا إلى القيام بذلك. فقد نجد سعادة أو راحة في رؤية حياتنا كجزء من سرد أكبر أو أكثر إشباعًا، بالنسبة إلى البعض، مع غض الطرف عن صفات الدين الخارقة للطبيعة أو الادعاءات الميتافيزيقية. وقد نستمد قيمةً من قراءة القصص الدينية كأرشيف مؤثّر للغاية يجسد رمزيًّا الصفات الأساسية للحالة الإنسانية. وقد نستمتع بالتحدي المتمثل في تطوير نظام تفسيري يجعل عقائد دينية معينة على قدم المساواة مع الفهم العلمي. وقد نجد أن من المجزي إسباغ إحساس مقدَّس على تفاعلنا مع العالم، وإضافة كسوة خارجية تعزز التجربة لكنها لا تنفي العقلانية. وقد نستفيد من الدعم والتضامن الذي يوفره الانتماء الديني. وقد نجد ثراءً شعوريًّا في المشاركة في الطقوس الدينية، والمرور بطقوس العبور وتعيين أيام مقدسة تربطنا بتقاليد جليلة. ويمكن لمثل هذه الأنواع من المشاركة الدينية أن توفّر نشاطًا ودافعًا ووحدة وتوجيهًا يرسم، بالنسبة إلى البعض، طريقًا نحو حياة أشد ثراءً ذات معنى أكبر. هذه الصور من الانخراط الديني لا تتطلب الإيمان بالطبيعة الواقعية للمحتوى الديني، وهي تعكس إيمانًا بقيمة هذا المحتوى، بصرف النظر عما إذا كان المحتوى حقيقيًّا أم لا.

منذ أكثر من قرن، قدم ويليام جيمس تحليلًا ثاقبًا ومخلصًا للخبرة الدينية، تحليلًا يتوافق مع ملاحظة الدالاي لاما المتعلقة بالفيزياء والوعي. وقد أكد جيمس أنه في حين ينمّي العلم نهجًا موضوعيًا محايدًا، فإنه ليس بوسعنا أن نأمل في بناء سرد كامل للواقع إلّا عبر النظر في عوالمنا الداخلية؛ «رعب الظواهر وجمالها، و«الوعد» بالفجر وقوس قزح، و «صوت» الرعد، و«لطف» أمطار الصيف، و«سموّ» النجوم، وليس القوانين الفيزيائية التي تتبعها هذه الأشياء»[38]. ومثل ديكارت، شدد جيمس على أن خبرتنا الداخلية هي في الواقع الخبرة الوحيدة. قد يسعى العلم إلى واقع موضوعي، بيد أن سبيلنا الوحيد إلى ولوج هذا الواقع يمر من خلال المعالجة الذاتية للعقل. وهكذا يفسر العقل البشري الواقع الموضوعي باستمرار عن طريق إنتاج واقع ذاتي.

وهكذا، إذا اعتُنقَت الممارسة الدينيّة -أو ربما تكون التسمية الأفضل هنا هي الممارسة الروحيّة- كوسيلة لاستكشاف العالم الداخلي للعقل، كرحلة داخلية من خلال الخبرة الذاتية الحتمية للواقع، حينئذٍ فإن الأسئلة المتعلقة بما إذا كانت هذه العقيدة أو تلك تعكس الواقع الموضوعي تصير ثانوية[39]. فالبحث الديني أو الروحي لا

يسعى وراء جوانب للعالم الخارجي يمكن إثبات صحتها، بل هناك مشهد داخلي كامل متاح للاستكشاف، من الرعب والجمال، والوعد والصوت، واللطف والسمو، تلك المشاعر التي أشار إليها جيمس، إلى القائمة الواسعة من البنى البشرية الأخرى -بما في ذلك الخير والشر، والخشية والوجل، والتساؤل والامتنان- التي استحضرناها على مر العصور لإسباغ القيمة وإيجاد المعنى. ومهما اجتهدنا في التحديق في الجُسَيْمات المنفردة في الطبيعة، ومهما أخلصنا في اتباع القواعد الرياضية الأساسية للطبيعة، فلن ندرك هذه المفاهيم. وهي تظهر فقط عندما تتمكن ترتيبات معقدة معينة من الجُسَيْمات من تطوير القدرة على التفكير والشعور والتأمل. وكم من المذهل والمبهج وجود مثل هذه المجموعات من الجُسَيْمات المتلاطمة، التي تعمل تحت السيطرة الصارمة للقوانين الفيزيائية، ومع ذلك فهي قادرة على جلب هذه الصفات إلى العالم.

أرى أن التشابه مع الاستعارات القوية للغة التي تصير أكثر استساغة بمرور الزمن يبرز نقطة أساسية، نقطة بديهية لكنها معبّرة: وهي أن العديد من ديانات العالم قديمة. هذا أمر حيوي. وهو يعرّفنا أنه على مدار قرون، إن لم يكن ألفيات، استحوذت الممارسة الدينية على اهتمام البشر، وقدّمت توليفات مختلفة منها بنية الطقوس، ووجهت إحساس البشر بمكانهم في هذا العالم، وأرشدت حسّهم الأخلاقي، وألهمت إنشاء الأعمال الفنية، ووفرت فرصة المشاركة في سرد أكبر من الحياة، ووعدت بأن الموت ليس هو النهاية، وبطبيعة الحال عمدت أيضًا إلى الترهيب بعقوبات قاسية، وشجّعت البعض على خوض معارك عنيفة، وبرّرت استعباد المخالفين وقتلهم، وما إلى ذلك. فبعضها جيد، وبعضها سيئ، والبعض الآخر مريع للغاية. ولكن ظلت الممارسة الدينية موجودة عبر كل ذلك. وعلى الرغم من عدم تقديم الدين رؤية ثاقبة للواقع المادي يمكن التحقق منها -فهذا هو نطاق العلم- فقد أمد الدين بعض أتباعه بشعور من التماسك أعطى الحياة سياقًا، ووضع المألوف والغريب، والأفراح والحسرات، داخل قصة أعظم. وبسبب ذلك، توفّر أديان العالم المبجلة سلاسل نسب تربط بين أتباعها عبر العصور.

نشأتُ في أسرة يهودية، وكنا نحضر القداس في العطلات الرئيسية، وأُلحِقت بمدرسة فيها تعليم ديني، فكنت أجلس في أحد الأركان وأستعرض العهد القديم سريعًا. شكوت مرّ الشكوى إلى والديَّ. ومع مرور السنين، زاد ابتعادي عن الدين، ولم أشعر بالحاجة إلى المشاركة في طقوسه الرسمية. بعد ذلك، وخلال فترة استراحة من دراستي العليا في أكسفورد، قمت برحلة إلى القدس. سمع حاخام شديد الحماسة بطريقة ما أن فيزيائيًا أمريكيًا شابًا كان يتجوّل في شوارع القدس، فتعقّبه، وأحاطه بدارسي التلمود الذين كانوا «يدرسون هم أيضًا أصل الكون»، وأقنع الطالب البالغ من

العمر عشرين عامًا الذي يحترمه بشكل مفرط بزيارة معبده ولفّ حول ذراعيه وجبينه أربطة صندوقَيّ الجلد التقليديين الخاصّين بطقوس التيفيلين، في الواقع ضغط عليه كي يفعل هذا. في نظر الحاخام، كان هذا إنفاذًا لمشيئة الله. فقد كان قدر الطالب أن يعود إلى الحظيرة. لكن في نظر الطالب، كان ذلك إكراهًا شديدًا للانخراط في ممارسة مقدسة من دون وجود قناعة داخلية. عندما فك الطالب أخيرًا الأربطة الجلدية وغادر المعبد، عرف أن كل شيء قد انتهى.

ومع ذلك، عندما توفّي والدي، كان استقبال عشرات اليهود المتدينين الآتين لتلاوة صلاة كاديش في غرفة المعيشة لدينا أمرًا مريحًا للغاية. لم يكن والدي شديد التديّن، لكنه كان محاطًا بتقليد عمره آلاف السنين، وكان موضوع طقوس أُدِّيَت لأعداد لا تُعد ولا تُحصى من البشر قبله. لم تكن الكلمات الدينية التي ردّدها الرجال مهمة في حدٍّ ذاتها. كانت باللغة الآرامية، مجموعة من الأصوات القديمة، شِعر قبلي مطبوع بالإيقاع والنغم، ولم أكن مهتمًا بالترجمة. ما همَّني في تلك اللحظات القصيرة -أي طبيعة إيماني إن جاز القول- هو هذا التاريخ والتواصل. وذلك، في رأيي، هو مكمَن بهاء التراث. وذلك، في رأيي، هو مكمَن عظمة الدين.



الفصل الثامن

الغريزة والإبداع

من القداسة إلى السمو

في السابع من مايو العام 1824، ظهر لودفيغ فان بيتهوفن على خشبة مسرح آم كارنتنيرتور في فيينا لحضور العرض الأول لسيمفونيته التاسعة الأخيرة. كان هذا أول أداء علنيّ لبيتهوفن منذ ما يقرب من اثني عشر عامًا. وأعلن البرنامج أن بيتهوفن سيساعد فقط في التوجيه، ولكن مع امتلاء المسرح وتصاعد حالة الترقّب لدى الجمهور، لم يستطع بيتهوفن تمالك نفسه. ووفقًا لعازف الكمان الأول جوزيف بوم، «قام بيتهوفن بقيادة الأوركسترا بنفسه، فوقف أمام حامل المايسترو وهو يهزّ جسده إلى الأمام والخلف كرجل مجنون. وفي لحظة ما كان يفرد قامته حتى أقصاها، وفي اللحظة التالية عليها كان يجثم على الأرض، وكان يلوِّح بيديه وقدميه كما لو كان يريد العزف على جميع الآلات بنفسه والغناء بدلًا من الكورس بأكمله»[1]. عانى بيتهوفن من طنين حاد -وصفه بأنه زئير في أذنيه- وفي هذا الوقت من حياته كان شبه أصمّ. ونتيجة لذلك، في حين كانت الأوركسترا تعزف نغمة النصر الأخيرة، كان قد تخلّف من دون أن يقصد عن بضعة موازين وظل يلوّح بيديه في قوّة. أمسكت الكونترالتو بكمّ بيتهوفن في لطف وأدارته لمواجهة الجمهور، الذي أخذ يلوّح بالمناديل ويهتف بصوت عالٍ. بكى بيتهوفن. كيف عرف أن الأصوات التي سمعها فقط في عقله ستمسّ وترًا حساسًا عالميًّا في قلب البشرية؟

تكشف أساطيرنا وأدياننا كيف حاول أسلافنا بشكل جماعي فهم العالم. ومن خلال احتضان القصة والطقوس والإيمان، سعت تقاليدنا -أحيانًا برحمة وأحيانًا بوحشية لا توصف- إلى صياغة سرد يفسّر الرحلة حتى الآن وحثنا على المضي قدمًا من هنا. وقد سرنا في نفس المسار كأفراد، معتمدين على الغريزة والبراعة لحماية البقاء خلال بحثنا عن التناغم وعن سبب يدفعنا إلى الاهتمام. استطاع البعض في هذه الرحلة التقاط ترابط الواقع بطرق جديدة ومذهلة، وقدّموا تأمّلات من خلال أعمال أدبية وفنيّة وموسيقيّة وعلمية من شأنها إعادة تعريف إحساسنا بالذات وإثراء علاقتنا بالعالم. كانت

الروح الإبداعية، التي نقشت منذ فترة طويلة التماثيل ولوّنت جدران الكهوف وسردت القصص، مهيأة للطيران.

واكتشفت عقولٌ رائعة -نادرة لكنها تظهر في كل عصر، وكلها شكّلتها الطبيعة والبعض الآخر شكّله وحي سماوي مُتَخَيَّل- طرُقًا جديدة للتعبير عن كل ما هو متسام. وعبّرت رحلاتهم الإبداعية عن مجموعة متنوعة من الحقائق التي تتجاوز الاشتقاق أو التحقق، ومنحت صوتًا لتحديد صفات الطبيعة البشرية التي تظل صامتة إلى أن نشعر بها.

الإبداع

تُعَد الحساسية تجاه النمط من بين أقوى مهارات البقاء لدينا. وكما رأينا مرارًا وتكرارًا، فإننا نلاحظ الأنماط ونستشعرها، والأهم من ذلك أننا نتعلّم منها. إذا خدعتني مرة، عار عليك، وإذا خدعتني مرتين، قد يكون من السابق لأوانه التصريح بأن العار عليّ، لكن بعد المرة الثالثة أو الرابعة سيكون هذا التحول في المسؤولية مُبرَّرًا. إن التعلّم من النمط موهبة أساسية من مواهب البقاء غرسها التطور في حمضنا النوويّ. ربما تعتمد الكائنات الفضائية التي تزور الأرض على عمليات كيميائية حيوية مختلفة، لكن من المستبعد أن يواجهوا صعوبة في استيعاب هذا المفهوم؛ إذ يعتبر تحليل الأنماط مكونًا أساسيًّا للكيفية التي حققوا بها سيادتهم أيضًا.

ومع ذلك، ربما لا يكون هذا اللقاء بين المَجَرّي لقاءً مثاليًّا بين العقول. ومن الممكن أن تتسبّب بعض الأنماط الأثيرة لدينا في إثارة حيرة زوارنا الفضائيين. فإذا وضعت أصباغًا معينة على قطعة قماش بيضاء، أو أزلتَ قِطعًا معينة من كتلة رخامية، أو ولَّدتَ اهتزازات معينة عبر جزيئات الهواء المتلاطمة -بحيث تنتج أنماطًا معينة من الضوء والملمس والصوت- سيكون بمقدورنا نحن البشر، عند التعرّض إلى مثل هذه الأنماط، الشعور بانفتاح الواقع بطرقٍ لم نتخيّل أنها ممكنة قط. وللحظة قصيرة، لكنها تبدو لا نهائية، يمكننا أن نشعر بتغيّر مكاننا في العالم كما لو كنا قد انتقلنا إلى عالم آخر. إذا كان الفضائيون يمتلكون هذه الأنواع من الخبرات، فسيدركون ما نتحدّث عنه. ولكن عندما نعيد سرد استجابتنا الداخلية للأعمال الإبداعية، من المحتمل أيضًا ألّا يستوعبوا ما نتحدّث عنه. ونظرًا إلى محدودية قدرة اللغة على وصف هذه الخبرات، ربما تظهر على الفضائيين أمارات الحيرة بينما يتنقّلون من قارة إلى قارة ويرون أعدادًا كبيرة من نوعنا، فُرادى أو جماعات، يركّزون في اهتمام ويستوعبون وينصتون ويحلّقون وهم يغمسون أنفسهم في عوالم الفن والموسيقى.

ستثير استجابتنا للتعبير الفني حيرة زوّارنا الفضائيين، ومن المرجَّح كذلك أن تثير عملية إنشاء هذه الأعمال حيرتهم بنفس الدرجة، وربما أكثر. الصفحة الفارغة، قماش البكر، كتلة الرخام غير المُشَكَّلة، قطعة الطين. القطعة الموسيقية غير المكتوبة التي تنتظر إلهام الملحن، أو تنتظر أن يجري عزفها بعد تأليفها، أو غنائها، أو الرقص على أنغامها. يقضي بعض أفراد نوعنا أيامهم ولياليهم في تخيل أشكال يستخرجونها من أشياء عديمة الملامح، واستخلاص أصوات تقطع الصمت. وسيمضي بعضهم جُل طاقة حياته في محاولة تحقيق هذه الرؤى الخيالية، وإنتاج أنماط في المكان والزمان ربما تحظى بالتبجيل أو الاستهجان أو التجاهل، أو ربما تُعتبَر جوهر الوجود. قال فريدريك نيتشه: «من دون موسيقى، ستكون الحياة غلطة»[2]. وعلى حد تعبير شخصية أكراسيا في إحدى مسرحيات جورج برنارد شو: «من دون الفن، ستجعل فظاظة الواقع العالمَ لا يطاق»[3]. لكن ما الذي يشعّ جذوة الدافع الإبداعي؟ هل تحفّزه الغرائز السلوكية التي شكلها الانتخاب الطبيعي؟ أم إننا أمضينا فترات طويلة ونحن ننفق موارد الوقت والطاقة الثمينة على مساعٍ فنّية لا علاقة لها بالبقاء والتكاثر؟

يُلقى بنا داخل العالم دون أن يُؤخَذ رأينا. وبمجرد وصولنا، يؤذَن لنا باحتضان الحياة للحظة عابرة فقط. وكم من المنعش أن نمسك بزمام الإبداع ونبتكر شيئًا نتحكم فيه، شيئًا ملكًا لنا في جوهره، شيئًا يعكس من نحن، شيئًا يجسّد منظورنا المتفرّد للوجود الإنساني. وفي حين قد يرفض الكثيرون منا فرصة تبديل الأماكن مع شكسبير أو باخ أو موتسارت أو فان جوخ أو ديكنسون أو أوكيف، فسيسعد الكثيرون بفرصة التمتّع ببراعتهم الإبداعية. فثمة شيء من الرومانسية في تسليط الضوء على الواقع بمنارات من صنعنا، وتحريك العالم بأعمال تتدفّق عبر تكويننا الوراثي الخاص، وصياغة خبرات قادرة على الصمود أمام اختبار الزمن. ويرى البعض أن هناك سحرًا في العملية الإبداعية، ذلك الدافع الذي لا يمكن كبته للتعبير عن الذات. ويرى آخرون فرصة لرفع مكانتهم وتقديرهم لذواتهم. ويرى آخرون في الإبداع إشارة إلى الأبدية، وكما قال كيث هارينج ذات مرة فإن إبداعاتنا الفنية هي «بحثٌ عن الخلود»[4].

إذا كان إبداع الأعمال الإبداعية واستهلاكها إضافة حديثة إلى السلوك البشري، أو إذا لم تُمارَس هذه الأنشطة إلّا نادرًا على امتداد التاريخ البشري، فمن غير المرجّح أن تكشف عن صفات عامّة لطبيعتنا البشرية المتطوّرة. فعلى أي حال، بعض الأشياء –مثل السراويل الفضفاضة والموز المقلي– تنشأ في ظروف خاصة طارئة، ولذا لا ينتج عن التدقيق في تفاصيل نسبها التاريخي سوى فائدة محدودة. لكن الحقيقة هي أننا جميعًا، منذ الماضي البعيد وعبر الأراضي المأهولة، كنا نغنّي ونرقص ونؤلّف ونرسم وننحت

ونقش ونكتب. يعود تاريخ رسوم الكهوف وأدوات الدفن المتقنة، التي تعرضنا لها في الفصل السابق، إلى أكثر من ثلاثين أو أربعين ألف عام. وقد اكتُشفَت نقوش وأعمال فنية تُظهر أدلّة على التعبير الفني منذ بضع مئات الآلاف من الأعوام قبلها[5]. إننا بصدد سلوك شديد الانتشار، ومع ذلك فإن قيمة البقاء الخاصة به غير واضحة كما هو الحال في سلوك الأكل والشرب والتناسل.

في ضوء إدراكنا الحديث، قد لا يبدو هذا محيّرًا لك. فالتعرض إلى عمل إبداعي ينعش الروح أو يدفعنا إلى البكاء يعني تجاوز رتابة الحياة اليومية، ومن ذا الذي لن يشعر بالإثارة من خبرة كهذه؟ ولكن كما في حالة الملاحظة السطحية التي تفيد بأننا نأكل المثلجات لأننا نحب الأشياء الحلوة، فإن هذا التفسير يركّز فقط على استجاباتنا المباشرة، ومن ثم فإنه يقتصر فقط على الدافع المباشر للميول الإبداعية. هل يمكننا التعمّق بدرجة أكبر؟ هل يمكننا الحصول على تفسير ثاقب لرغبة أسلافنا في التحوّل عن التحدّيات الشديدة الواقعية التي يفرضها البقاء وإنفاق الوقت الثمين والطاقة والجهد عبر الانخراط في الأعمال الإبداعية؟

الجنس وكعكة الجبن

عندما تعرّضنا بالنقاش إلى أسلافنا الأوائل الذين يروون القصص، فكّرنا في سؤال مشابه، وكانت الإجابة الأكثر إقناعًا معتمدة على استعارة محاكي الطيران: فمن خلال الاستخدام الإبداعي للغة تعرَّضنا إلى وجهات نظر مألوفة وغريبة، وهو ما مكنَنا من توسيع وصقل استجاباتنا في مواقف العالم الحقيقي. وعن طريق سرد القصص وسماعها وتزيينها وتكرارها، استكشفنا الاحتمالات من دون أن نعاني من العواقب. وقد خُضنا طريقًا تلو الآخر بادئين بعبارة «ماذا لو؟»، ومن خلال العقل والخيال، استكشفنا ثروة من النتائج المحتملة. لقد هامت عقولنا في حرية داخل مشهد الخبرة المُتَخَيَّلة، مما أعطانا سرعة في التفكير أثبتت فائدتها بدرجة معقولة من أجل البقاء.

عندما نتدبر أشكال الفن الأكثر تجريديّة، نجد أن هذا التفسير يحتاج إلى إعادة نظر. فتخيّل العقل وهو يصقل مُثُلًا، كالشجاعة والبطولة من خلال الحكايات الجذّابة عن المعارك التي تحقّق فيها الانتصار بشق الأنفس، أو الروايات الساحرة عن الرحلات التي نتعرّض فيها للغدر، بينما القول بأن العقل مارس تأثيرًا تكيفيًّا من خلال الاستماع إلى النسخة المكافئة من إديث بياف أو إيجور سترافينسكي في عصر البليستوسين أمر مختلف تمامًا. وهناك فجوة كبيرة على ما يبدو بين خبرة الموسيقى -أو الرسم أو الرقص أو النحت- والتغلب على التحديات التي واجهها أسلافنا في عالمهم.

فكر داروين نفسه في الوظيفة التكيفية المحتملة للحسّ الفني الفطري، وما دفعه إلى ذلك كان اللغز التطوّري الشهير الذي يمثّله ذيل الطاووس. فالذيل الكبير ذو الألوان الزاهية يجعل من الصعب على الطاووس أن يختبئ، وعندما يطارده حيوان مفترس يقترب بسرعة تجعل من الصعب عليه أن يهرب. لماذا يتطوّر مثل هذا التركيب الكبير والجميل، لكن الذي لا يقدِّم قيمة تكيفية على ما يبدو؟ وكانت الإجابة التي خلص إليها داروين بعد الكثير من الذعر هي أنه في حين أن ذيل الطاووس قد يمثل عائقًا في صراع البقاء، إلّا أن الذيل يعتبر جزءًا أساسيًّا من استراتيجية التكاثر لديه. فليس البشر وحدهم هم من يجدون ذيل الطاووس جذابًا. فأنثى الطاووس تجده جذابًا كذلك. تنجذب الإناث إلى الريشات ذات الألوان الزاهية، وهكذا كلما كان ذيل ذكر الطاووس أكثر إثارة للإعجاب، زادت احتمالات التكاثر. ومن المرجح أن ترث الذرية سمات الأب وأذواق الأم، وهو ما يسبب حربًا وراثية لا تُربَح فيها المعارك عن طريق الحصول على المزيد من الطعام، أو ضمان قدر أكبر من الأمان، وإنما عن طريق إنماء ذيول أشد تألقًا.

هذا مثال على *الانتخاب الجنسي*، وهي آلية تطوّرية داروينية يحرّك تروسها النجاح التكاثري. الطاووس الذي يموت صغيرًا سيفشل في التكاثر، وهذا هو السبب الأساسي الذي يجعل الانتخاب الطبيعي يفضّل الطواويس الباقية على قيد الحياة. غير أن الفشل نفسه في التكاثر سيصيب الطاووس الذي يعيش طويلًا ويزدهر ومع ذلك تتحاشاه جميع شريكات التكاثر المحتملة. فمن أجل التأثير على التركيب البيولوجي للأجيال التالية، يكون البقاء على قيد الحياة ضروريًا، لكنه ليس كافيًا. فما يهم هو إنجاب النسل، ومن ثم فإن السمات التي تعزز التزاوج ستتمتّع بمزية انتخابية، حتى ولو كان هذا على حساب السلامة أحيانًا[6]. لا يمكن أن تكون هذه التكاليف فادحة -فهناك حدود لعدم العملية التي تتسم بها الذيول، وبعدها سيكون البقاء مهددًا تمامًا- لكنها لا يمكن أن تكون مجانيّة كذلك. وعلى الرغم من أن ذيل الطاووس هو المثال الأشهر، ثمة اعتبارات مماثلة تنطبق على عدد كبير من الأنواع. تُميل عصافير القرقرون ذات اللحية البيضاء أجسامها في رقصات لافتة من أجل إغراء شركاء التزاوج المحتملين، وتؤدي اليراعات عروضًا ضوئية أخّاذة يعتمد النجاح فيها على براعة عروضها العابرة، وتبني ذكور طيور التعريشة أوكارًا متقنة، ذات أغصان متشابكة وأوراق وأصداف وحتى أغلفة حلوى ملوّنة، في عرض تفاخري يبدو أنه لا يخدم أي غرض آخر سوى إغواء الإناث[7].

عندما وصف داروين الانتخاب الجنسي للمرة الأولى في كتاب «نشأة الإنسان والانتخاب الجنسي»
The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex، المكوَّن من مجلدَيْن

والمنشور العام 1871، لم يلق هذا الطرح نجاحًا فوريًا. ففي نظر كثيرين من معاصريه، بدا من غير المعقول أن يعتمد السلوك في العالم الوحشي للحيوانات غير البشرية على الاستجابات الجمالية[8]. ليس الأمر أن داروين كان يتخيّل طيورًا أو ضفادع مستغرقة في الخيال الشعري، وتحدّق في أشعة الشمس الضاربة إلى الحمرة وهي تنخفض تحت الأفق. بل تَركز الحس الجمالي الذي اقترحه فقط على اختيار الشريك. ومع ذلك، فإن إسناد داروين «ذائقة جمالية»[9] إلى رقعة واسعة من مملكة الحيوان بدا متعجرفًا. وفي نظر ألفريد راسل والاس، الذي اعتبر أن المشاعر الجمالية لدى الإنسان هبه من الله، كان ذلك غير لائق بالمرة[10].

لكن إذا لم نعتمد على وجود حساسية فطرية للجمال، كيف لنا أن نفسر الزينة الجسدية الفخمة، والعروض الإبداعية، والإنشاءات المادية التي تعتبر جزءًا لا يتجزأ من ألعاب التزاوج التي لا تعد ولا تحصى التي تُمارَس في مملكة الحيوان؟ حسنًا، هناك نهج أقل نُبلًا. لنتدبر ذيل الطاووس مرة أخرى. في حين أننا نحن البشر قد نقدر جماليات ريش الطاووس، إلّا أنه ربما يثير استجابة غريزية ذات أهمية وراثية كبيرة لأنثى الطاووس. فالطواويس المزينة بالريش المبهِر تكون قوية وصحيحة الجسد، مما يزيد من احتمالية إنجابها نسلًا قويًا. وبما أن أنثى الطاووس، مثلها مثل أي أنثى في معظم الأنواع، تستطيع أن تنتج ذرية أقل بكثير مقارنة بالذكور، فقد اكتسبت تفضيلًا قويًا بشكل خاص للذكور الذين يتمتّعون بالصلاحية، وتعزز هذا التكاثر معدلات نجاح كل عملية تخصيب مستهلكة للموارد وثمينة[11]. ونظرًا إلى كون الريش الغني دليلًا مرئيًا على قوة الشريك المحتمَل وحيويته، فإن إناث الطاووس التي تنجذب إلى هذه الذيول من المرجَّح أن تكون لها صيصان قوية. وهذه الصيصان، بدورها، ستمتلك في المتوسط الجينات نفسها الخاصّة بالرغبة في الريش المتألق وامتلاكه، مما يسهل انتشار هذه السمات عبر الأجيال القادمة. والجمال، في هذا التحليل للانتخاب الجنسي، أعمق كثيرًا من المظهر الخارجي. ويُعد الجمال بمنزلة أوراق اعتماد علنية تشهد على الصلاحية التكيفية للشريك المحتمل.

في كلتا الحالتين -سواء أكان اختيار الشريك مدفوعًا بالحساسيات الجمالية أو التقييمات الصحية- من الممكن أن توفّر التفضيلات الناتجة أساسًا منطقيًا للسمات المكلفة، الجسدية والسلوكية، التي تكون فوائدها الجوهرية للبقاء محل شكٍّ. وبما أن هذا الوصف يبدو قابلًا للتطبيق على الممارسات الفنية العالمية الموجودة منذ فترة طويلة لدى نوعنا، فربما يلقي الانتخاب الجنسي بعض الضوء على الأمر. رأى داروين أن ذلك ممكن. وقد اعتمد على الانتخاب الجنسي في تفسير ولع الإنسان بالثقوب

الجسدية والتلوين، واقترح أيضًا أن الاستجابة القوية التي يمكن أن تثيرها الموسيقى هي نتيجة تطورية للانتخاب الجنسي الذي يشكل دعوات التزاوج البشرية. فالذكور الذين يمكنهم الغناء أو الرقص بشكل أفضل، أو لديهم وشم أو ملابس مزخرفة أكثر إغراءً، ربما كانوا هدفًا للإناث المدقِّقات في الاختيار، وبالتالي أنجبوا ذرية أكثر ميلًا للفنون. فعندما يلتقي الشاب بالفتاة، ربما كانت المواهب الفنية هي التي حدّدت ما إذا كان الشاب قد عاد إلى المنزل بمفرده أم لا.

مؤخّرًا، طوّر عالِم النفس جيفري ميلر، والفيلسوف دينيس داتون أيضًا، هذا المنظور بدرجة أكبر، إذ اقترحا أن القدرات الفنية البشرية توفّر مؤشرًا للصلاحية تدركه الإناث الفطِنات[12]. فالقطع الأثرية المصنوعة بحرَفية، والعروض الإبداعية والأداءات النشطة، لا تعتبر دليلًا على وجود عقل وجسد نشيط وقوي على جميع المستويات وحسب، ولكن تشهد هذه الأعمال أيضًا على أن الفنان يمتلك السمات المناسبة للبقاء. فعلى أي حال، كما يذهب هذا المنطق، عن طريق امتلاك الموارد المادية والبراعة الجسدية فقط يستطيع الفنان تحمّل الإسراف المتمثّل في إنفاق الوقت والطاقة على أنشطة تفتقر إلى قيمة للبقاء. (يبدو مؤكّدًا أن فناني عصر البليستوسين كانوا بعيدين كل البعد عن التضوّر جوعًا). ووفق وجهة النظر هذه، فإنّ الممارسات الفنية بمنزلة استراتيجية تسويق ذاتية الترويج تؤدّي إلى اتحادات بين الفنانين الموهوبين وشريكات التزاوج المدقِّقات، وهو ما ينتج ذرية من المرجح بدرجة كبيرة أن تمتلك سمات مماثلة.

إن النظر إلى الانتخاب الجنسي باعتباره محرّكًا تطوّريًا للنشاط الفني البشري أمر مثير للاهتمام، بيد أنه ولّد من الصراع أكثر مما ولّد من الاتفاق. وقد أثار الباحثون عددًا كبيرًا من القضايا: هل الموهبة الفنية مؤشّرٌ دقيقٌ للصحة الجسدية؟ هل من الممكن أن تكون القدرات الفنية متشابكة مع الذكاء الخام والإبداع والصفات ذات القيمة المؤكّدة للبقاء، بحيث تنتشر الميول الفنية عبر الانتخاب الطبيعي من دون الحاجة إلى الاعتماد على الانتخاب الجنسي كتفسير؟ ومع تركيز الانتخاب الجنسي على الفنانين الذكور، كيف تفسّر النظرية الأنشطة الفنية للإناث؟ وربما يتمثّل أكبر التحدّيات على الإطلاق في أن المشاركة العامة في الأنشطة الفنية خلال عصر البيستوسين وكذلك طقوس التودّد وممارسات التزاوج في تلك الحقبة ما هي إلّا مسألة تخمين بالأساس. بالتأكيد، قد تكون أعمال لوسيان فرويد وميك جاجر أسطورية، ولكن ماذا يخبرنا هذا عن أهمية المهارة الفنية أو الحضور المسرحي للنجاح التكاثري بين أشباه البشر الأوائل، إن كان لهذه الأمور من أهمية من الأساس؟ في ضوء هذه المخاوف، قدم برايان بويد ملخّصًا مدروسًا: «كان الاختيار الجنسي أداة إضافية للفن، وليس المحرك نفسه»[13].

يقترح ستيفن بينكر وجهة نظر مختلفة تمامًا حول الفائدة التكيفية للفنون. وفي فقرة كثيرًا ما يقتبسها المؤيدون والمنتقدون على حد سواء، يذهب بينكر إلى أن جميع الفنون، باستثناء فنون اللغة، ما هي إلّا حلوى عديمة القيمة الغذائية يتم تقديمها إلى الأدمغة البشرية المهووسة بالأنماط. وبقدر ما «تسبّب كعكة الجبن استثارة حسية ليس لها نظير في العالم الطبيعي لأنها تقدّم جرعة ضخمة من المحفّزات المقبولة التي ابتكرناها لغرض صريح هو الضغط على أزرار المتعة»[14]، فإن الفنون، وفقًا لبينكر، هي إبداعات عديمة النفع مصمَّمة لاستثارة حواس الإنسان بشكل مصطنع والتي تطوّرت لتعزيز صلاحية أسلافنا. ليس هذا حُكمًا على القيمة. وتوضح حجج بينكر المحكَمَة، والعامرة بالإشارات الثقافية، أن لديه تقدير عميق للفنون. بدلًا من ذلك فإن هذا تقييم محايد لاحتمالية أن تكون الفنون قد لعبت دورًا في مهمة واحدة بعينها: تعزيز فرصة تمرير جينات أسلافنا في العالم القديم إلى الجيل التالي، وليس جينات أبناء عمومتهم الذين افتقروا إلى الذائقة الفنية، أو تمييز النغمات، أو المهارة اليدوية، أو الثقافة. وفي سبيل تحقيق هذه الغاية تحديدًا يذهب بينكر إلى أن الفنون غير ذات صلة.

لا ريب في أن التطور أغرانا بتبنّي مجموعة من السلوكيات تهدف إلى زيادة صلاحيتنا البيولوجية، من العثور على الطعام، وتأمين الأصدقاء، وضمان السلامة، إلى عقد التحالفات، وصَدّ الأعداء، وتعليم النسل. انتشرت السلوكات الموروثة التي أدت في العموم إلى نجاح تكاثري أكبر انتشارًا واسعًا وأضحت بمنزلة الآليات المختارة للتغلب على تحدّيات تكيفية معينة. وخلال عملية تشكيل بعض هذه السلوكيات، كانت إحدى الطرائق التي استخدمها التطور هي المتعة: فإذا وَجدتَ سلوكيات معينة تعزز البقاء ممتعة، فمن المرجح أن تقوم بها. وبفضل صفاتها المعزّزة للبقاء، ستزيد هذه السلوكيات من احتمالية بقائك على قيد الحياة لفترة كافية للتكاثر، مما يمنح الأجيال القادمة ميولًا سلوكية مماثلة. وبهذا يولّد التطوّر مجموعة من حلقات التغذية الراجعة الذاتية التعزيز التي تجعل تلك السلوكيات المعزّزة للصلاحية ممتعة. في رأي بينكر، تقطع الفنون حلقات التغذية الراجعة، وتبدّد الفوائد التكيفية، وتحفّز مراكز المتعة لدينا على نحو مباشر، مما يسفر عن تجارب مُرضية غير مكتسبة من منظور تطوّري. فنحن نحب الشعور الذي تمنحنا إياه الفنون، ولكن لا إبداعها ولا خبرتها تجعلنا أكثر صلاحية أو جاذبية. ومن منظور البقاء، ما الفنون إلّا طعام غير صحي.

الموسيقى هي المثال الأثير لدى بينكر، وهو يوضح عدم أهمية هذا النوع من الفنون بأوفى الصور. ويقترح بينكر أن الموسيقى طفيلي سمعي، يصاحب الحساسيات السمعية المفعَمة بالعاطفة التي كان لها في الماضي البعيد قيمة تتعلق بالبقاء لدى

أسلافنا. على سبيل المثال، الأصوات التي تترابط تردّداتها بشكل متناسق (التردّدات التي تكون عبارة عن مضاعفات لتردّد مشترك) تشير إلى مصدر واحد يمكن تحديده (تكشف الفيزياء الأساسية أنه عندما يهتزّ جسم خطي، سواء أكانت الحبال الصوتية لحيوان مفترس، أو سلاح مصنوع من عظم مجوّف، فإن التردّدات الاهتزازية تملأ في المعتاد سلسلة إيقاعية متناغمة). وأسلافنا الذين استجابوا بشكل أكثر استمتاعًا لمثل هذه الأصوات المنظّمة كان من شأنهم أن يولوها اهتمامًا أكبر ومن ثم اكتسبوا وعيًا أكبر ببيئتهم. وكان من شأن الإدراك المتزايد أن يُميل كفة البقاء لصالحهم، ويعزز سلامتهم، ويزيد التطور اللاحق للحساسية السمعية. إن الإدراك المُحسَّن للأصوات الأخرى الغنية بالمعلومات، من هَزيم الرعد إلى وَقع الأقدام إلى تَكسُّر الفروع، كان من شأنه أن يزيد من حدة الانتباه ومن ثم يعزّز الوعي بالبيئة المحيطة أكثر وأكثر. وهكذا فإن أسلافنا الذين تمتّعوا بقدرة أكبر على تمييز النغمات الصوتية امتلكوا مزية الأفضلية، مما يعزّز انتشار الحساسية السمعية عبر الأجيال اللاحقة. ووفقًا لبينكر فإن الموسيقى تختطف هذه الحساسية الصوتية وتأخذها في رحلة حسّية ممتعة ليس لها أي قيمة تكيفية. ومثلما تحفز كعكة الجبن، بصورة مصطنعة، تفضيلنا التكيّفي القديم للأطعمة ذات المحتوى المرتفع من السعرات الحرارية، تحفِّز الموسيقى، بصورة مصطنعة، حساسيتنا التكيفية القديمة للأصوات ذات المحتوى المعلوماتي المرتفع.

إن تشبيه خبرة رفيعة بمتعة تثير إحساس الذنب، على النحو الذي قدّمه بينكر، تشبيه مزعج. وهذا أمر مقصود. وليس المقصود منه الحط من شأن خبرة الفن التي نمرّ بها، إنما توسيع نطاق الأشياء التي نعزو إليها الأهمية. فمن المؤكد أن ثمة شعورًا مرَضيًا تمامًا في تحديد الأساس التطوّري لهذا السلوك البشري أو ذاك، إذ يحظى هذا بقبول واضح مطبوع في حمضنا النووي. كم من المشبع أن نتصوّر أن الفنون، التي يعتبرها الكثيرون من بين أرفع الإنجازات البشرية، لعبت دورًا أساسيًا في بقاء النوع ذاته؟ ولكن مهما كان هذا التفسير مُرضيًا، فلا حاجة، أو ضرورة، تحتّم أن يكون صحيحًا. فالتكيف البيولوجي ليس المعيار الوحيد للقيمة. ومن الرائع بالمثل أن نسمو بأنفسنا فوق الانشغال بالبقاء وأن نستخدم الخيال للتعبير عن شيء جميل، أو مزعج، أو مفجع. فالأهمية لا تتطلّب فائدة تكيفية. قبل سنوات، وخلال عشاء عائلي في مطعم محلّي، وبينما كان النادل يضع كعكة جبن على طاولة قريبة، لفت هذا الأمر نظر والدتي، التي كانت تتبع حمية غذائية باستمرار، وهي لفتة احترام لا تنطبق فقط على الحلوى نفسها ولكن على السلوكيات البشرية المنتشرة التي أكسبت هذه الحلوى، من منظور بينكر، قيمة تطورية.

الخيال والبقاء

إن الإقرار بأنه لا حاجة إلى الشعور بالخجل من الفنون بسبب افتقارها إلى الفائدة التكيفية لم يُثنِ الباحثين عن مواصلة البحث عن تفسيرات داروينية مباشرة لاستمرارها وشيوع وجودها في كل مكان. ونعني بهذا التفسيرات التي تحاول الربط بصورة مباشرة بين الأنشطة الفنية وبقاء أسلافنا. وفي هذا الصدد، شدّدت عالمة الأنثروبولوجيا إيلين ديسانايك على الحاجة إلى تدبّر الفنون على النحو الذي مورسَت به في عالم الأسلاف، وذهبت إلى أنه عبر التاريخ البشري، لم تكن الفنون، والديانات أيضًا، مُلهيات غير منتظمة «يجري الانخراط فيها صبيحة يوم واحد من كل أسبوع، أو عندما لا يوجد شيء أفضل للقيام به، كما لم تكن وسائل ترفيه غير ضرورية يمكن نبذها تمامًا»[15]. فكان الفن، مثل الدين، جزءًا لا يتجزأ من نسيج الوجود القديم، سواء تجسّدت مظاهره في النزول تحت الأرض لتزيين جدار كهف، أو قرع الطبول والرقص والغناء حتى الدخول في غشية من عالم آخر. وهنا يكمن دور تكيّفي محتمل له.

إذا زارت كائنات فضائية كوكب الأرض في العصر الحجري القديم وراهنت على النوع الذي سيسود بعد مليون عام، ربما ما كان جنس الهومو Homo، ليحظى بالكثير من الرهانات. ومع ذلك، فمن خلال الجمع بين العضلات والدماغ، استطعنا أن نسود على أشكال الحياة الأكبر والأقوى والأسرع، وكذلك تلك التي تتمتّع بحواس شم وإبصار وسمع أقوى. وقد انتصرنا لأننا نتمتّع بسعة الحيلة والإبداع بالتأكيد، ولكن العنصر الأهم هو أننا اجتماعيون بشكل استثنائي.

ناقشنا في الفصول السابقة عددًا من الآليات التي ربما سهّلت قدرتنا على التجمّع في مجموعات منتجة، من رواية القصص إلى الدين إلى نظرية الألعاب. ولكن نظرًا إلى أن هذا السلوك معقّد بقدر ما هو مؤثّر، فقد يكون البحث عن تفسير واحد أضيق مما ينبغي. وربما لعب أكثر من مزيج من هذه الآليات دورًا مهمًّا في ميولنا الجماعية الناجحة، وكما اقترحت ديسانايك وآخرون، يجب توسيع قائمة التأثيرات الاجتماعية بحيث تشمل الفن.

إذا كنت أنتَ وأنا واثقَين من أن كلًّا منا سيفهم استجابات الآخر الشعورية ويتوقّعها –حتى عندما نواجه تحدّيات غير مألوفة ونسعى وراء فرص جديدة– فهناك فرصة أفضل لأن نتعاون بنجاح. وربما كانت الفنون ضرورية لتحقيق ذلك. وإذا كنت أشارك أنا وأنت وآخرون داخل مجموعتنا بشكل متكرّر في نفس التجارب الفنية الطقسية، وننضم معًا في إيقاع ولحن وحركة نشطة، فمن شأن وحدة هذه الرحلات الشعورية القوية أن تخلق إحساسًا بالتضامن المجتمعي. وأي شخص شارك في قرع الطبول أو

الغناء أو الحركة لفترة طويلة يعرف هذا الشعور، وإذا لم تفعل هذا من قبل، أوصيك بقوة أن تفعله. لقد دمجتنا هذه الرحلات الشعورية المشتركة، التي تبدو مكثّفة وأكبر من الحياة، في كُلٍّ أكثر التزامًا. وقد شدّد نويل كارول، الفيلسوف الذي كان من بين أول من اقترحوا هذه الأفكار، على أن «الفن كان يهدف إلى إثارة وتشكيل المشاعر بطريقة تربط بين أولئك الواقعين تحت تأثيرها وترسخ مكانهم كمشاركين في الثقافة»[16]. وفي الواقع، فإن فكرة الثقافة ذاتها -باعتبارها مجموعة مشتركة على نطاق واسع من التقاليد والعادات ووجهات النظر- تعتمد على وجود تراث مشترك من الممارسة والخبرة الفنية. وقد كان لأعضاء هذه المجموعات المتوافقة شعوريًّا فرصة أفضل للبقاء على قيد الحياة، ونقل الميل الوراثي لمثل هذه السلوكيات إلى الأجيال التالية.

إذا لم تقتنع بالتماسك الجماعي كتفسير تكيّفي للدين، فربما لا تقتنع بالمثل بالتماسك الجماعي كتفسير تكيّفي للفن. ولكن كما هو الحال في مناقشتنا للدين، فإننا لا نحتاج إلى التركيز فقط على الجماعات. فربما كان للفن فائدة تكيّفية مباشرة على مستوى الفرد، وأجد هذا المنظور مُقنعًا بشكل خاص. فالفنون توفّر ساحة لا تحدّها ضوابط الحقيقة الراسخة والواقع المادي اليومي، وهو ما يسمح للعقل بالقفز والالتفاف والتعثر، بينما يستكشف كل صور التجديد المُتَخَيَّلة. والعقل الذي يقتصر على تدبر ما هو حقيقي فقط هو عقل يستكشف عالمًا محدودًا تمامًا من الاحتمالات. لكن العقل المعتاد على عبور الحدود بحرية بين ما هو حقيقي وما هو خيالي -مع التمييز بوضوح بين الأمرين- يصبح ماهرًا في كسر قيود التفكير التقليدي. وهذا العقل مهيأ للابتكار والإبداع. يوضح التاريخ هذا على نحو جلي. ونحن مدينون بالعديد من أعظم الفتوحات العلمية والتكنولوجية إلى مجموعة من الأفراد استطاعوا النظر إلى نفس المشكلات التي أربكت أجيالًا من المفكرين السابقين وتحلّوا بالمرونة في التفكير لرؤية تلك المشكلات من منظور مختلف.

لم تكن خطوة أينشتاين الأساسية نحو النسبية مدفوعة بتجارب أو بيانات جديدة. فقد كان يعمل مع حقائق معروفة بالفعل، حقائق متعلّقة بالكهرباء والمغناطيسية والضوء. بدلًا من ذلك، تمثّلت خطوة أينشتاين الجريئة في التحرر من الافتراض الشائع بأن المكان والزمن ثابتان، الأمر الذي يتطلّب تغيّر سرعة الضوء، وعوضًا عن ذلك تصور أينشتاين أن سرعة الضوء ثابتة، وهو ما يتطلّب تغير المكان والزمن. لا يُقصَد بهذا الملخص المقتضب شرح النسبية الخاصة (لهذا الغرض أحيلك، على سبيل المثال،

إلى الفصل الثاني من كتاب «الكون الأنيق» *The Elegant Universe*)[1]، ولكن ملاحظة أن الاكتشاف اعتمد على تخيل عملية إعادة ترتيب بسيطة ولكنها أساسية للوحدات الأساسية المكوِّنة للواقع، وقلب لأنماط رمزية مألوفة جدًا لدرجة أن جُل العقول غفلت عن هذا الاحتمال تمامًا. إنها مجموعة متنوّعة من المناورات الإبداعية التي تحاكي أعلى مستويات التكوين الفنّي. وفق تقييم عازف البيانو اللامع جلين غولد، تتجلى عبقرية باخ في قدرته على ابتكار خطوط لحنية «عند تغيير موضعها أو عكسها أو الارتداد بها إلى الوراء أو تغييرها بشكل إيقاعي ستُظهِر... بعض السمات الجديدة تمامًا ولكن المتناغمة بالكامل»[17]. استندت عبقرية أينشتاين إلى قدرة مماثلة، وغير مألوفة بالمثل، على إعادة تشكيل اللبنات الأساسية للفهم، والنظر من جديد إلى مفاهيم جرى تمحيصها لعقود، إن لم يكن لقرون، والجمع بينها وفقًا لمخطط جديد مبتكر. وقد وصف أينشتاين العملية الفكرية التي اتبعها بأنها تفكير بالموسيقى، وقال إنه اعتمد كثيرًا على استكشافات بصرية خالية من المعادلات والكلمات، وليس هذا أمرًا مفاجئًا. فقد تمثَّل فن أينشتاين في سماع إيقاعات ورؤية أنماط كشفت عن وجود وحدة عميقة في آليات عمل الواقع.

ليست نسبية أينشتاين أو موسيقى الفوغا لباخ مماثلة للبقاء على قيد الحياة. ومع ذلك فكل من هذه الأشياء مثال ممتاز على القدرات البشرية التي كانت ضرورية لهيمنتنا. قد يكون الرابط بين الكفاءة العلمية وحل تحديات العالم الحقيقي أوضح، لكن العقول التي تفكّر عبر التشبيهات والاستعارة، والعقول التي تُمَثِّل عن طريق اللون والملمس، والعقول التي تتخيّل عبر اللحن والإيقاع تزرع مشهدًا معرفيًا أشد ازدهارًا. وكل هذا يعني أن الفنون ربما لعبت دورًا حيويًا في تطوير مرونة الفكر وطلاقة الحدس التي احتاجها أسلافنا لتشكيل الرمح، واختراع الطهو، وتسخير العجلة، وبعد ذلك، تلحين القداس في مقام سي الصغير، ثم بعد ذلك، لكسر منظورنا الجامد للمكان والزمن. وعبر مئات الآلاف من الأعوام، ربما كانت المساعي الفنية ملعبًا للإدراك البشري، إذ وفّرت ساحة آمنة لتدريب قدراتنا التخيلية وتزويدها بقدرة قوية للابتكار.

لاحِظ أيضًا أن الأدوار التكيفية للفن التي تدبرناها -مثل شحذ الابتكار وتقوية الروابط الاجتماعية- تعمل بالترافق جنبًا إلى جنب. فالابتكار هو جندي مشاة الإبداع، وتماسك المجموعة هو قوّة التنفيذ. ويتطلّب النجاح في المعركة الدؤوبة من أجل البقاء كلا الأمرين: أي تنفيذ الأفكار الإبداعية بنجاح. وتشير حقيقة وجود الفن في

(1) الطبعة العربية صادرة عن دار التنوير.

قلب الأمرين إلى دور تكيفي يتجاوز مجرد الضغط على أزرار المتعة. من الممكن بالتأكيد أن تكون الفنون مُنتَجًا ثانويًا غير ذي قيمة تكيفية، ولكنه ممتع للغاية لدماغ كبير يستضيف عقلًا مبدعًا، لكن في نظر العديد من الباحثين لا يشير هذا إلى قدرة الفن على تشكيل تفاعلنا مع الواقع. وقد أوضح برايان بويد هذه النقطة في إيجاز، قائلًا: «عبر صقل وتقوية قدراتنا الاجتماعية، وعبر جعلنا أكثر استعدادًا لاستخدام موارد الخيال، وعبر زيادة ثقتنا في تشكيل الحياة وفقًا لشروطنا الخاصة، يغيّر الفن علاقتنا بعالمنا تغييرًا جوهريًّا»[18].

أنا منحاز إلى وجهة النظر القائلة بأن شحذ البراعة، وممارسة الإبداع، وتوسيع المنظور، وبناء التماسك توفر كلها قالبًا للكيفية التي أثّرَت بها الفنون على الانتخاب الطبيعي. ووفق هذا المنظور، تنضمّ الفنون إلى اللغة، والقصة، والأسطورة، والدين باعتبارها وسائل يفكّر بها العقل البشري بشكل رمزي، ويتدبّر على نحو مخالف للواقع، ويتخيّل بحرية، ويعمل بصورة تعاونية. وعلى امتداد فترات زمنية طويلة، أدت هذه القدرات إلى ظهور عالمنا الثري ثقافيًّا وعلميًّا وتقنيًّا. وعلى الرغم من ذلك، حتى إذا كنت تعتبر الدور التطوري للفن أشبه بالحلوى الكريمية، يمكننا بالتأكيد أن نتّفق على أن عددًا لا يحصى من أشكال الفن كان له حضور ثابت وقيّم عبر التاريخ البشري. وهذا يعني أن الحياة الداخلية والتبادلات الاجتماعية احتضنت أنماطًا من المشاركة لا تولي قيمة عظيمة إلى المعلومات الواقعية المنقولة عبر اللغة.

ماذا يخبرنا هذا عن الفن والحقيقة؟

الفن والحقيقة

منذ نحو عشرين عامًا، وفي أحد أيام الخريف المشمسة الرائعة التي تتحول فيها أوراق الشجر إلى اللون الأحمر والبرتقالي المحروق، كنت أقود السيارة بمفردي على طريق سريع من مدينة نيويورك إلى منزل العائلة في شمال الولاية، وعلى حين غرّة ظهرت كلبةٌ من العدم واندفعت عابرة الطريق. ضغطتُ بكل قوتي على المكابح، لكن قبل توقف السيارة بلحظة شعرت برجة مكتومة تبعتها أخرى عن كثب، إذ دهست العجلتان الأماميتان ثم الخلفيتان الكلبة. قفزتُ من السيارة ورفعتُ الكلبة، التي كانت واعية لكنها عاجزة عن الحركة، ووضعتها على المقعد المجاور للسائق وانطلقت على طول الطرق الريفية بحثًا عن طبيب بيطري. بعد دقائق، انتصبت الكلبة في جلستها، بطريقة ما. وضعتُ يدي برفق على رأسها، وأراحت الكلبة رأسها على يدي ضاغطةً إياها على ظهر المقعد بينما أمالت ظهرها إلى الوراء. أوقفت السيارة. نظرت الكلبة

إليّ بعنين لا تطرفان. ألم. رعب. استكانة. مزيج من كل هذا على ما يبدو. ثم ضغطت جسدها بقوة أكبر على يدي، وكأنها لا تستطيع الرحيل بمفردها، ثم ماتت.

مررتُ من قبل بموقف موت حيوان أليف. كان هذا مختلفًا. كان مفاجئًا وعنيفًا. مع الوقت، تلاشت الصدمة، لكن بقيت اللحظة الأخيرة معي. تدرك ذاتي العقلانية أنني أُكسبُ حدثًا مؤسفًا، ولكن شديد الشيوع، معنًى غير مبرر. ومع ذلك، فإن الانتقال من الحياة إلى الموت لحيوان قابلته بالصدفة ومات بسببي، وإن كان ذلك عن غير قصد، كان له تأثير غريب وغير متوقَع عليّ. فقد حمل معه نوعًا معينًا من الحقيقة. ليست حقيقة منطقية. وليست حقيقة فعلية. ليست شيئًا يمكنني قياسه على نحوٍ له معنًى. لكن في تلك اللحظة، شعرت بشيء يتغيّر قليلًا في إحساسي بالعالم.

بإمكاني تحديد مجموعة صغيرة من الخبرات الأخرى التي خلَّفت لدي شعورًا مشابهًا، كلٌ بطريقتها المميزة. حَمل طفلي الأول لأول مرة، الاحتماء في شق صخري في التلال خارج سان فرانسيسكو بينما تهب عاصفة عاتية في سماء المنطقة، سماع ابنتي الصغيرة تغنّي بمفردها في حفل مدرسي، الحل المفاجئ لمعادلة استعصت على الحل لشهور، الوقوف على ضفة نهر باجماتي ومشاهدة أسرة نيبالية بينما تؤدّي طقوس حرق أحد أفراد الأسرة المتوفين، التزلج -بل السقوط- على منحدر مائل بزاوية حادة في تروندهايم والنجاة بصورة ما. من المؤكد أن لديك قائمتك الخاصة. كلنا كذلك. قائمة من الخبرات التي تستأثر بانتباهنا تمامًا وتثير استجابات شعورية نقدّرها حتى في غياب -أو ربما بسبب غياب- وصف منطقي أو لغوي كامل لها. والأمر المثير للفضول، والشائع رغم ذلك على الأرجح، هو أنه في حين أن عملي يعتمد على اللغة تمامًا، إلّا أنني لا أشعر بالحاجة إلى استكشاف هذه الخبرات بالكلمات. وعندما أفكر فيها، لا أشعر بنقص في الفهم يستدعي توضيحًا لغويًا. فهي توسّع عالمي من دون الحاجة إلى تفسير. وهذه هي الأوقات التي يعرف فيها الراوي الموجود داخلي أن الوقت قد حان لأخذ قسط من الراحة. فالحياة التي تُعاش لا يلزم بالضرورة أن يجري التعبير عنها لغويًا بوضوح.

يمكن للفن، في صوره الأكثر لفتًا للانتباه، أن يستحث في داخلنا حالات عقلية وجسدية مزلزلة تشبه تلك التي تنتجها مواجهاتنا الأشد تأثيرًا في العالم الحقيقي، وأن يشكل بالمثل تفاعلنا مع الحقيقة ويعززه. من الممكن للمناقشة والتحليل والتفسير أن تشكل هذه الخبرات بدرجة أكبر، بيد أن أقوى هذه الخبرات لا تعتمد على وسيط لغوي. في الواقع، حتى بالنسبة إلى الفنون القائمة على اللغة، فإن الصور والأحاسيس هي التي تترك أبلغ الأثر دائمًا في خبراتنا الأشد إثارة. ووصفت الشاعرة جين هيرشفيلد

ذلك في أناقة قائلة: «عندما يجلب الكاتب إلى اللغة صورة جديدة صحيحة تمامًا، فإن نطاق ما يمكن معرفته من الوجود يتسع»[19]. ويتحدث أيضًا سول بيلو، الفائز بجائزة نوبل، عن قدرة الفن الفردية على توسيع المعرفة إذ يقول: «وحده الفن يخترق ما تنشئه الكبرياء والعاطفة والذكاء والعادات على كل الجوانب؛ تلك الحقائق الظاهرة لهذا العالم. وهناك واقع آخر، واقع أصيل نغفل عنه، وهذا الواقع الآخر يرسل إلينا دائمًا تلميحات، ومن دون فن لا نستطيع تلقيها». ومن دون هذا الواقع الآخر، كما يقول بيلو، مُردِّدًا الأفكار التي وضعها بروست، يُختزَل الوجود إلى «مصطلحات ذات غايات عملية نطلق عليها كذبًا اسم الحياة»[20].

يعتمد البقاء على جمع المعلومات التي تصف العالم بدقة. ويتطلّب التقدم، بالمعنى التقليدي المتمثّل في السيطرة المتزايدة على محيطنا، فهمًا واضحًا لكيفية اندماج هذه الحقائق في أعمال الطبيعة. هذه هي المادة الخام التي تشكّل الغايات العملية. إنها الأساس لما نسميه الحقيقة الموضوعية، وغالبًا ما ترتبط بالفهم العلمي. لكن مهما كانت هذه المعرفة شاملة، فإنها ستظل دائمًا قاصرة عن تقديم وصف شامل للخبرة البشرية. إن الحقيقة الفنية تمسّ طبقة متميزة، وتروي قصة على مستوى أعلى، قصة، على حد تعبير جوزيف كونراد: «تناشد ذلك الجزء من كياننا الذي لا يعتمد على الحكمة»، وتخاطب بدلًا من ذلك «قدرتنا على البهجة والاندهاش، وشعور الغموض الذي يحيط حياتنا، وإحساسنا بالشفقة والجمال والألم، والشعور الكامن برفقة مع كل صور الخليقة... في الأحلام، وفي الفرح، وفي الحزن، وفي التطلّعات، وفي الأوهام، وفي الأمل، وفي الخوف... ذلك الإحساس الذي يربط البشرية جمعاء معًا؛ الأموات بالأحياء، والأحياء بمن لم يولدوا بعد»[21].

انطلقت الغريزة الإبداعية من الاحتمالية الصارمة وتطوّرت على مدى آلاف السنين، واستكشفت النطاق العاطفي الذي يميز رؤية كونراد للرحلة الفنية، ويقدم اللغة التي يهمس بها واقع بيلو الأصيل لنا من وراء حجاب. وقد صاغ الكُتّاب تحديدًا عَالمًا تلو الآخر من الشخصيات التي تقدم حياتها الخيالية دراسات مكثفة في الشأن البشري، كما في حالة أوديسيوس ورحلة الانتقام والولاء المحفوفة بالمخاطر، والليدي ماكبث ومخالب الطموح والذنب، وهولدن كولفيلد وغريزة التمرد التي لا يمكن كبتها، وأتيكوس فينش وقوة البطولة الهادئة التي لا تتزعزع، وإيما بوفاري ومآسي التواصل الإنساني، ودوروثي والطريق المتعرج لاكتشاف الذات؛ وإن النظرة الثاقبة التي تلقيها هذه الأعمال على الخبرات المتنوعة، والحقائق الفنية التي تطوّرها، تضفي ظلالًا وأبعادًا على المخطط الجاف للطبيعة البشرية.

تقدّم الأعمال المرئية والسمعية، التي لا يكون فيها للغة دورًا مركزيًا، خبرات أكثر انطباعية. ومع ذلك، وكما هو الحال مع نظيرتها الأدبية، إن لم يكن أكثر من ذلك، هي قادرة على إثارة نفس المشاعر التي تتجاوز الحكمة، بحسب وصف كونراد، فالأصوات التي تسكن واقع بيلو الحقيقي تخاطبنا بطرق متنوّعة. لا يمكنني الاستماع إلى مقطوعة «رقصة الموت» لفرانز لِيست من دون الشعور بنذير الشؤم، وتستحضر السيمفونية الثالثة لبرامز شوقًا عميقًا غير متوقّع، وتحمل مقطوعة «تشاكون» لباخ تمجيدًا لكل ما هو سام، في حين تُعد خاتمة «أنشودة الفرح» للسيمفونية التاسعة لبيتهوفن في نظري، ونظر الكثيرين حول العالم بالطبع، من بين أكثر المقطوعات التي عرفها نوعنا تفاؤلًا على الإطلاق. وإذا تحدّثنا عن الموسيقى المصحوبة بكلمات، سنجد أغنية «هللويا» لليونارد كوهين التي تمجّد الحياة غير المثالية بأصالة لا تُضاهى، ويجسد أداء جودي غارلاند البسيط والرائع لأغنية «فوق قوس قزح» التوق الخالص إلى الشباب، وتجسد أغنية «تخيّل» لجون لينون القوة البسيطة لتصوّر الممكن.

كما هو الحال مع لحظات الحياة المميزة، يمكننا جميعًا أن نستحضر في أذهاننا أعمالًا أدبية أو سينمائية، أو أعمال نحت أو تصميم الرقصات، أو رسم أو موسيقى، والتي أثّرت فينا بطريقة أو بأخرى. وعبر هذه التجارب الآسرة، فإننا نستهلك «جرعات ضخمة» من الصفات الضرورية للحياة البشرية على هذا الكوكب. ولكن، على النقيض من السعرات الحرارية الفارغة، تقدّم هذه اللقاءات القوية الأثر رؤى سيكون من الصعب، إن لم يكن من المستحيل، الحصول عليها بطريقة أخرى.

وقد عبّر الشاعر الغنائي يب هاربورج، مؤلف العديد من الكلاسيكيات مثل أغنية «فوق قوس قزح»، عن هذه الفكرة ببساطة إذ قال: «الكلمات تجعلك تفكّر في فكرة. والموسيقى تجعلك تشعر شعورًا. لكن الأغنية تجعلك تشعر بفكرة»[22]. تشعر بفكرة. في نظري، يجسد هذا جوهر الحقيقة الفنية. وكما أكد هاربورج، فإن التفكير أمر عقلي، والشعور أمر عاطفي، لكن «الشعور بفكرة هو عملية فنية»[23]. وهذه الملاحظة مبنية على ربط اللغة والموسيقى، لكنها في الحقيقة تجمع بين صور الفنون بشكل عام. فالاستجابات العاطفية التي يستثيرها الفن تتدفّق عبر مستودع الفكر المتماوج الذي يقوم عليه الإدراك الواعي. وفي حالة الأعمال غير المصحوبة بكلمات، تكون هذه التجارب أقل توجيهًا وتكون المشاعر أكثر انفتاحًا. غير أن كل صور الفن لديها القدرة على جعلنا نشعر بالأفكار، مما ينتج عنه مجموعة متنوّعة من الحقائق التي من غير المرجح أن نتوقّعها من التدبر الواعي أو التحليل الواقعي. مجموعة متنوّعة من الحقائق تتجاوز الحكمة بالفعل. وتتجاوز التفكير الخالص، وتتجاوز المنطق، وتتجاوز ضرورة الإثبات.

لا تفهمني خطأ. فنحن جميعًا أكياس من الجُسَيْمات -سواء العقل أو الجسد- وبمقدور الحقائق الفيزيائية المتعلّقة بالجُسَيْمات أن تتناول كيفية تفاعلها وسلوكها على نحو وافٍ. غير أن هذه الحقائق، السرد من منظور الجُسَيْمات، لا تلقي إلّا ضوءًا أحادي اللون فقط على القصص الغنية بالألوان الخاصة بكيفية تبحّرنا نحن البشر داخل العوالم المعقّدة للتفكير والإدراك والعاطفة. وعندما تمزج مُدركاتنا بين التفكير والعاطفة، عندما نشعر بالأفكار مثلما نفكر فيها، فإن خبرتنا ستتجاوز حدود التفسير الميكانيكي. وستمكّن من ولوج عوالم مجهولة ما كان لنا ولوجها بخلاف ذلك. وكما أكد بروست، فإن هذا أمر يجب الاحتفاء به، مُشيرًا إلى أنه فقط من خلال الفن يمكننا دخول الكون السرّي للآخر، وهي الرحلة الوحيدة التي «نطير فيها حقًا من نجم إلى نجم»، وهي رحلة لا يمكن خوضها «بالطرائق المباشرة والواعية»[24].

وعلى الرغم من تركيز بروست على الفنون، فإن منظوره يتوافّق مع وجهة نظري القائمة منذ وقت طويل نحو الفيزياء الحديثة. وقد قال ذات مرة: «إن الرحلة الاستكشافية الحقيقية الوحيدة لن تتمثّل في زيارة أراضٍ غريبة، وإنما في امتلاك أعين أخرى، لرؤية الكون بعيني شخص آخر، وعيون مائة شخص آخر»[25]. اعتمدنا نحن الفيزيائيون، لقرون، على الرياضيات والتجارب من أجل إعادة تشكيل أعيننا، والكشف عن طبقات من الواقع لم تمسّها الأجيال الماضية، والسماح لنا برؤية المشاهد الطبيعية المألوفة بطرائق جديدة صادمة. وباستخدام هذه الأدوات، وجدنا أن أغرب الأراضي قد ظهرت نتيجة الفحص الدقيق للعوالم ذاتها التي سكنّاها لفترة طويلة. ورغم ذلك، فمن أجل اكتساب هذه المعرفة وتسخير قوة العلم بشكل عام، علينا أن نتبع الدافع الراسخ للنظر إلى ما وراء الخصائص الدقيقة المميزة للكيفية التي تستوعب بها كل مجموعة منفصلة من مجموعات الجزيئات والخلايا ذلك العالم، وأن نركّز على السمات الموضوعية للواقع. وبالنسبة للبقية، للحقائق البشرية بالكامل، تعتمد قصصنا المتداخلة على الفن. وكما قال جورج برنارد شو: «أنت تستخدم مرآة زجاجية لترى وجهك، وتستخدم الأعمال الفنية لترى روحك»[26].

الخلود الشعري

كثيرًا ما أُسأل أي حقيقة من حقائق الكون أعتبرها مثيرة للذهول. ليس لدي إجابة ثابتة. في بعض الأحيان أقترح مرونة الزمن التي تقضي بها النسبية. وفي مناسبات أخرى أقترح التشابك الكمّي، الذي سماه أينشتاين «العمل المخيف عن بُعد». لكن أحيانًا أتحرّى البساطة وأقترح شيئًا واجهه معظمنا لأول مرة حين كنا أطفالًا في المدرسة.

عندما ننظر إلى السماء ليلًا نرى النجوم كما كانت منذ آلاف عديدة من الأعوام. وباستخدام التليسكوبات القوية، نرى أجرامًا فلكية أبعد كثيرًا كما كانت منذ ملايين أو مليارات الأعوام. ربما يكون بعض هذه الأجرام الفلكية قد فنيَ منذ زمن بعيد، ومع ذلك فما زلنا نراها لأن الضوء الذي أطلقته منذ زمن بعيد لا يزال يشق طريقه نحونا. بسبّب الضوء وهم الحضور. ولا ينطبق هذا على النجوم فقط. فإذا لم تتعرّض حزم الإشعاع المنعكسة لأي أعاقة، فمن شأنها أن تحمل بصمتك وبصمتي عبر حيِّز عشوائي من المكان والزمن، في خلود شِعريّ يقطع الكون بسرعة الضوء.

بالعودة إلى الأرض، يتّخذ الخلود الشعري شكلًا مختلفًا. إن التوق إلى التمسك بالحياة بقدر ما نختار لم يُشبَع، على الأقل ليس بعد، وربما لن يُشبَع أبدًا. غير أن العقل المبدع، القادر على التجوّل بحرية في عوالم مُتَخَيَّلة، يمكنه استكشاف الخلود، ويمكنه أن يهيم عبر الأبدية، ويتأمّل في سبب سعينا وراء الزمن الأبدي أو ازدراءنا له أو الخوف منه. وقد فعل الفنانون ذلك بالضبط طيلة آلاف الأعوام. ومنذ نحو ألفين وخمسمائة عام، أعربت الشاعرة اليونانية القديمة صافو عن أسفها لحتمية التغيير، قائلة: «أنتم، أيها الأطفال، تسعون وراء هدايا ربات الشعر الجميلة المزينة بالبنفسج/ والقيثارة ذات النغمات الصافية المحببة في الغناء/ ولكن بالنسبة لي، استحوذت الشيخوخة الآن على جسدي الذي كان غَضًّا في ما مضى»، وعزَّزت كلامها بالإشارة إلى حكاية تيثونوس التحذيرية، وهو بشري منحته الآلهة الخلود ولكنه لا يزال خاضعًا لويلات الشيخوخة، ويعاني منها إلى الأبد. ويشير البيت الأخير، الذي يؤمن بعض الباحثين بأنه النهاية الحقيقية للقصيدة -«مَنحني إيروس جمال الشمس وإشراقها»- إلّا أنه من خلال سعيها الشغوف للحياة، الذي عبرت عنه من خلال شعرها، توقّعت صافو السمو فوق الذبول وتحقيق إشراق دائم الشباب، ومن خلال شعرها تخيلت بلوغ خلود رمزي[27].

إنها نسخة من مخطط إنكار الموت الذي نسعى فيه نحن البشر إلى العيش من خلال إنجازاتنا البطولية، أو مساهماتنا المؤثّرة، أو أعمالنا الإبداعية. ويتطلّب نطاق هذا الخلود تعديل منظورنا الإنساني، من الخلود إلى ديمومة الحضارة، وهي تكلفة فادحة، ولكن يقابلها إدراك أن النسخة الرمزية من الخلود حقيقية، خلافًا لنظيرتها الحَرْفية. والقضية الوحيدة تتعلّق بالاستراتيجية. أي حيوات سوف نتذكّرها؟ وأي الأعمال ستدوم؟ وكيف نضمن أن تكون حياتنا وأعمالنا من بينها؟

بعد آلاف السنين من صافو، تأمّل شكسبير دور الفن والفنان في تشكيل ما يتذكّره العالم. وفي تناوله لرثاء يتخيل كتابته، يقول شكسبير: «عندما تموت كل نفس في هذا العالم/ ستظل أنت حيًّا، هذا هو تأثير قلمي»، وهي فائدة، يؤكّد شكسبير، أنه لن يتمتع

بها هو نفسه: «سيحظى اسمك بالخلود من هذه اللحظة وصاعدًا/ على الرغم من أنني، بمجرد وفاتي، سأموت في نظر العالم بأسره». بالطبع، نحن مشاركون في لعبة شكسبير؛ وبما أن كلمات الشاعر هي التي ستُقرأ وتُتلى، فإن موضوع المرثية ليس سوى وسيلة الشاعر إلى تحقيق الخلود، وإن كان ذلك بصورة رمزية. وفي الواقع، كان شكسبير هو من ظلت ذكراه باقية لقرون تالية.

بعد أن غادر أوتو رانك حلقة فيينا لفرويد، طوّر أطروحته القائلة بأن السعي وراء الخلود الرمزي هو المحرك الأساسي للسلوك البشري. من وجهة نظر رانك، يعكس الدافع الفني تولي العقل مسؤولية مصيره، وامتلاكه الشجاعة لإعادة صياغة الواقع، وخوض المشروع الممتد بطول الحياة والمتمثّل في تشكيل الذات المتفرِّدة الخاصة به. ويقترب الفنان من الصحة النفسية عن طريق قبول الفناء -سنموت، هذا كل ما في الأمر، لنتقبل هذه الحقيقة- وتحويل الرغبة في الخلود إلى شكل رمزي تحمله الأعمال الإبداعية. هذا المنظور يلقي ضوءًا مختلفًا على الصورة النمطية للفنان المعذَّب. ووفقًا لرانك فإن التأقلم مع الفناء من خلال خلق الفن هو أحد طرق الحفاظ على العقل. أو كما وصف الكاتب والناقد جوزيف وود كروتش بالمثل: «يحتاج الإنسان إلى الخلود، ويشهد على ذلك التاريخ الكامل لتطلعاته، غير أن أبدية الفن، على الأرجح، هي النوع الوحيد الذي سيحصل عليه»[28].

هل من الممكن أن تكون هذه الديناميكية قائمة منذ عشرات الآلاف من الأعوام، بحيث تلقي الضوء على سبب تحويلنا الطاقة إلى أنشطة تتعارض مع احتياجات القوت والمأوى العاجلة؟ هل من الممكن أن تفسّر لماذا ظلت المساعي الفنية، عبر آلاف الأعوام، خيوطًا مركزية في نسيج الثقافات البشرية كافة؟ إجابة السؤالين هي نعم. وسواء أكانت رؤية رانك الشاملة صائبة أم لا، يمكننا أن نتخيل أسلافنا القدامى وهم يستشعرون طبيعتهم الفانية، ويتوقون إلى التمسك بعالمهم وأن يميزوه بشيء أيقوني، شيء من إبداعهم، شيء دائم. ويمكننا أن نتخيّل هذا الدافع وهو يقاطع التركيز الدؤوب على البقاء، ومع مرور الوقت يجري تعزيزه وصقله من خلال البهجة الجماعية الناتجة عن الانضمام إلى الفنان في عوالم خيالية تنبثق من العقل البشري.

في حين أن ندرة الأدلّة تختزل تحليل ماضينا البعيد إلى تخمين مستنير، فإننا نواجه في عصرنا الحديث عملًا تلو الآخر يتدبّر في عمق مسألة الموت والخلود[29]. فقد تفكّر والت ويتمان في عدم القدرة على تحمل وصف الموت بالنهاية: «هل تشك في الموت؟ إذا تشككتُ في الموت فسأموت الآن. / هل تعتقد أن بإمكاني السير بسرور ورضا نحو الفناء؟... / أقسم أنني أعتقد بأنه لا يوجد شيء سوى الخلود!». وفي نظر

ويليام بتلر ييتس، كانت مدينة بيزنطة القديمة وجهةً من الممكن أن يتحرّر فيها من شكله الجسدي المحتضر، ويتحرر من المخاوف الإنسانية، ويُمنَح الإذن بدخول عالم الخلود: «خُذوا بعيدًا قلبي، المريض بالرغبة / والمربوط بحيوان يحتضر / إنه لا يعلم ما هو، واجعلوني/ جزءًا من التحف الخالدة»[30]. وأوضح هيرمان ميلفيل أن الفناء يبحر معنا حتى عندما يبدو أن المياه الهائجة قد هدأت: «يولد الجميع والرسن ملتف حول أعناقهم، ولكن فقط عندما يلحق بهم الموت السريع والمفاجئ، يدرك البشر الأخطار الصامتة والماكرة والحاضرة دائمًا للحياة»[31]. وأخذ إدغار آلان بو إنكار الموت إلى حد أدبي متطرف إذ أعطى صوتًا لضحايا الدفن المبكر الذين يقاومون عناق الموت الحميم: «صرختُ من الرعب: غرست أظافري في فخذيَّ وجرحتهما، كان التابوت غارقا بدمي، وعبر تمزيق الجوانب الخشبية لسجني، بنفس الشعور المهووس أدميتُ أصابعي وبليت أظافري بسرعة، وسرعان ما أصبحت بلا حراك من فرط الإرهاق»[32]. وقال تينيسي ويليامز، على لسان شخصية بيج دادي بوليت الخيالية، إن «الجهل -بالفناء- هو راحة. والإنسان لا يتمتّع بهذه الراحة، فهو الكائن الحي الوحيد الذي يتصوّر الموت»، ونتيجة لذلك، «إذا كان لديه المال، فإنه يشتري ويشتري ويشتري، وأعتقد بأن سبب شرائه لكل ما يمكن شراؤه هو أن لديه ذلك الأمل المجنون في أن تكون الحياة الأبدية من بين مشترياته»![33].

وعبَّرَ دوستويفسكي، من خلال شخصية أركادي سفيدريجايلوف، عن منظور مختلف، إذ ضاق ذُرعًا بالتبجيل الذي يفرضه الخلود: «دائمًا ما يُقَدَّم الخلود لنا على أنه فكرة لا يمكننا استيعابها، كشيء هائل، هائل! لماذا يجب أن يكون هائلًا؟ فجأة، بدلًا من كل ذلك، تخيل أنه ستكون هناك غرفة صغيرة، شيء مثل حمام ريفي، حالك، تسكن العناكب جميع أركانه، وذلك هو الخلود كله. كما تعلم، أتخيله أحيانًا على هذا النحو»[34]. وعبرت سيلفيا بلاث أيضًا عن الشعور ذاته: «يا إلهي، أنا لست مثلك / في سوادك الخاوي / والنجوم عالقة في كل مكان، كنثار ساطع غبي / إن الخلود يضجرني، لم أرغب فيه قط»[35]. كما عبر عنه دوغلاس آدامز في مرح من خلال شخصية واوباجر الخالد، الذي يخطّط للتغلب على ضجره العميق من خلال الإهانة المنهجية لكل فرد في الكون، واحدًا تلو الآخر، بالترتيب الأبجدي[36].

يوضح هذا النطاق من الاستجابات، من التوق إلى الازدراء، النقطة الأكبر؛ وهي أن إدراكنا لمحدودية الزمن المخصّص لنا أدى إلى تناول فني حيوي لمفهوم الخلود. فالحياة الخاضعة للاختبار تتدارس الموت. وفي نظر البعض يعني تدارس الموت تحرير الخيال لتحدي هيمنته، والتقليل من مكانته، وتخيل عوالم بعيدة عن متناوله.

ومهما دافع الباحثون بقوة عن الفائدة التطوّرية للفنون، ودورها في بناء التماسك الاجتماعي، وضرورتها من أجل التفكير المبتكر، ومنزلتها ضمن مجموعة الدوافع الأولية، فإنها تمثل أقوى وسائلنا للتعبير عن الأشياء التي نعدّها الأكثر أهمية، ومن بين هذه الأشياء الحياة والموت، والمحدود واللانهائي.

في نظر الكثيرين، بمن فيهم أنا، تقدِّم الموسيقى أشد صور هذه التعبيرات تركيزًا. فمن الممكن أن تسبب الموسيقى انغماسًا شديدًا بحيث نشعر في غضون بضع لحظات قصيرة وكأننا خطونا خارج حدود الزمن. وقد وصف عازف التشيللو والمايسترو بابلو كاسالس قدرة الموسيقى على «تزويد الأنشطة العادية بحماسة روحية، ومنح أجنحة الخلود لأسرع الأشياء زوالًا»[37]. إنها الحماسة التي تجعلنا نشعر بأننا جزء من شيء أكبر، شيء يؤكّد بشكل عميق «اقتناع كونراد الراسخ بالتضامن الذي يربط معًا عزلة عدد لا يُحصى من القلوب»[38]. فالموسيقى تستدعي الترابط، سواء مع الملحن أو المستمعين الآخرين، أو من خلال نوع أكثر تجريدًا من التواصل. ومن خلال هذا الترابط تتجاوز خبرة الموسيقى الزمن.

في أواخر ستينيات القرن العشرين، طُلب من تلاميذ الصف الثالث في فصل السيدة جربر في مدرسة ويليام بي شيرمان 87 في مانهاتن إجراء مقابلة مع شخص بالغ من اختيارهم وكتابة تقرير قصير يشرح مهنة الشخص الذي أجريَت معه المقابلة. سلكتُ الطريق السهل وأجريت مقابلة مع والدي، وهو مؤلف موسيقي وفنان كان مولعًا بالحديث عن مؤهلاته الدراسية، باعتباره «متسرِّبًا من مدرسة سيوارد بارك الثانوية». خلال الصف الدراسي العاشر، تخلّى والدي عن الدراسة وأخذ يتنقل في أرجاء البلاد، يغني ويعزف الموسيقى ويمارس التمثيل. مر أكثر من نصف قرن على تلك المهمة المدرسية، لكن ثمة شيئًا واحدًا ذكره والدي ظل عالقًا في ذاكرتي. إذ عندما سألته عن سبب اختياره للموسيقى، أجاب: «لإبعاد الوحدة». تحوّل بعدها بسرعة إلى نغمة أكثر مرحًا، وأكثر ملاءمة لتقرير الصف الثالث، لكن تلك اللحظة العفوية كانت كاشفة. فقد كانت الموسيقى شريان حياته. كانت نسخته من تضامن كونراد.

قليلون هم الملحنون الذين يحركون مشاعر العالم. لم يكن والدي من بينهم، وهو إدراك مؤلم أخذ يتقبله ببطء. ولم تعد الألحان والإيقاعات المكتوبة بخط اليد على مئات من صفحات المخطوطات المصفرّة، والعديد منها يسبق ولادتي، ذات أهمية تُذكَر لأي شخص باستثناء العائلة. وربما أكون الشخص الوحيد المتبقّي الذي ما زال يستمع، من وقت إلى آخر، إلى الأناشيد والأغاني وأعمال البيانو التي قام بتأليفها في أربعينيات القرن الماضي وخمسينياته. بالنسبة لي، أعتبر هذه المؤلفات كنزًا، صلة تمكنني من أن أشعر بأفكار والدي في وقت كان قد بدأ فيه للتو شق طريقه في العالم.

للموسيقى قدرة لافتة على خلق مثل هذا الارتباط العميق، حتى بين أولئك الذين لا ينتمون إلى نفس العائلة، وبين أشخاص يعيشون في أزمنة مختلفة، ويسكنون عوالم مختلفة. ويأتينا وصف مؤثر من هيلين كيلر، واحدة من الأبطال التاريخيين المتفرّدين. ففي الأول من فبراير 1924، بثت محطة WEAF الإذاعية في مدينة نيويورك السيمفونية التاسعة لبيتهوفن التي كانت تؤدّيها أوركسترا نيويورك السيمفونية على الهواء مباشرة. وفي المنزل، وضعت هيلين كيلر يديها على الغشاء المهتز لسمّاعة مذياع مكشوفة، واستطاعت عبر الاهتزازات الشعور بالموسيقى، والشعور بما أسمته «السيمفونية الخالدة»، بل وتمييز الآلات الفردية. «عندما ارتفعت الأصوات البشرية من بين تيار النغمات، تعرّفت عليها فورًا باعتبارها أصواتًا. شعرتُ بأن الكورس يزداد ابتهاجًا، ونشوة، ويرتفع بسرعة وعلى نحو يشبه اللهب، حتى كاد قلبي يتوقف». ثم اختتمت حديثها عن الأصوات التي تمسّ الروح، والموسيقى التي يتردّد صداها إلى الأبد، قائلة:

بينما كنت أستمع، والظلام والألحان والظلال والأصوات تملأ الغرفة، لم أستطع منع نفسي من تذكّر أن الملحن العظيم الذي أغدق على العالم هذا الطوفان من الحلاوة كان أصمَّ مثلي. وتعجبت من قوة روحه التي لا تنطفئ، والتي بفضلها اعتصر من آلامه مثل هذا الفرح للآخرين، وها أنذا جالسة، أشعر بيدي بالسيمفونية الرائعة التي تهدر كالبحر على الشواطئ الصامتة لروحه وروحي[39].

الفصل التاسع

الديمومة والوقتية

من السمو إلى الخاطرة الأخيرة

لدى كل ثقافة فكرة عن الأبدية، وتمثيل مبجّل للديمومة. الأرواح الخالدة، القصص المقدّسة، الآلهة التي لا حدود لقدراتها، القوانين الأبدية، الفن السامي، النظريات الرياضية. ومع ذلك فإن الديمومة، التي تمتد من النطاقات الغيبية إلى تلك المجرّدة تمامًا، هي شيء نتطلّع إليه نحن البشر ولكننا لا نحققه أبدًا. وأقرب صورة منها -الإحساس بتلاشي الزمن، سواء أكان ذلك نتيجة لقاء مبهج أو مأساوي، أو تحفيز تأملي أو كيميائي، أو خبرة دينية أو فنية سامية- من الممكن أن تمدّنا بأقوى خبرات الحياة البناءة.

منذ عقود، شاركتُ مع ثمانية مراهقين آخرين في دورة للبقاء على قيد الحياة في أعماق غابات فيرمونت. وفي وقت متأخر من إحدى الليالي، وبينما كنا جميعًا نائمين في خيامنا، صاح قادة الدورة التدريبية فينا كي ننهض ونرتدي ملابسنا بسرعة. كنا سننطلق في رحلة ليلية مرتَجلة. تشابكت أيدينا وسرنا في طابور أحادي في الظلام الحالك، وشققنا طريقنا ببطء عبر الغابة الكثيفة والشجيرات المتشابكة، وعبر مستنقع طيني عميق يصل ارتفاع الماء فيه، لحسن الحظ، إلى الخصر فقط. وأخيرًا بعد أن وصلنا إلى منطقة مكشوفة قريبة، وملابسنا مبتلة ونرتجف من البرد والوحل يغطينا، قيل لنا إننا سنُترَك هنا نحن التسعة طوال الليل مع ثلاث حقائب نوم فقط. وبعد أن أدركنا عدم جدوى اعتراضاتنا، مهما كانت قوية، ضممنا حقائب النوم معًا، وتجرَّدنا من ملابسنا، وتجمعنا متلاصقين. كثيرون منا تفوّهوا بالسباب، وتعهد آخرون بترك الدورة في أقرب وقت، في حين بكى بعضنا. ولكن بعد ذلك شاهدنا أروع المناظر؛ إذ ملأ الشفق القطبي الخلاب سماء الليل. لم يسبق لي أن رأيت شيئًا كهذا. خيوط الضوء الدوامة، والألوان المذهلة التي ينزف بعضها على بعض، كلها ظاهرة على خلفية من النجوم التي تبدو لا نهائية، ولا تُعد ولا تُحصى. فجأة، كنت في مكان مختلف. المسيرة الطويلة، المستنقع، البرد، الاحتشاد معًا ونحن شبه عراة؛ كان كل ذلك جزءًا من ارتداد بدائي. الإنسان،

والطبيعة، والكون. وبينما افترشتُ الأرض، كنت محاطًا بأضواء راقصة. وبعد أن هجرتني آخر بقايا الحرارة الجماعية، استوعبتني النجوم البعيدة. لم أعلم كم من الوقت أخذت أحدق في السماء قبل أن يغلبني النوم، ربما قضيت دقائق أو ساعات. لم تكن المدة مهمة في حد ذاتها. وللحظة وجيزة، تبدّد الزمن.

المواقف التي نفقد فيها الإحساس بالزمن على هذا النحو نادرة. وهي عابرة. فالزمن، في معظم الأحيان، رفيق دائم. والوقتية هي أساس الخبرة. ونحن نبجّل المطلق، لكننا مقيدون بالطبيعة العابرة للزمن. وحتى سمات الكون التي ربما تظهر على أنها دائمة -اتساع الفضاء، والمجرّات البعيدة، ومكونات المادة- كلها تقع في متناول الزمن. وكما سنستكشف في هذا الفصل والفصل الذي يليه فإن الكون وكل ما يحويه قابل للتغيير وغير مستقر، بصرف النظر عما يبدو عليه من ثبات.

التطور، والإنتروبيا، والمستقبل

تحت الواجهة الزائفة الثابتة للواقع، كشف العلم عن دراما لا هوادة فيها للجُسَيْمات المتلاطمة، يكون فيها من المغري تصوير التطور والإنتروبيا كشخصيات جاهزة للمعركة وتقاتل دائمًا في سبيل السيطرة. تتصوّر الحكاية أن التطوّر يشيِّد البنية بينما تدمّرها الإنتروبيا. وهي قصة أنيقة، لكن المشكلة، كما رأينا في الفصول السابقة، هي أنها ليست صحيحة تمامًا. فمثل العديد من المخططات المبسَّطة، هناك بعض الحقيقة فيها. فالتطوّر له بالفعل دور هائل في تشييد البنية. وتميل الإنتروبيا إلى هدم البنية. بيد أن الإنتروبيا والتطور لا يجب بالضرورة أن يعملا في اتجاهين متعاكسين. وتتيح رقصة الإنتروبيا الثنائية للبنية الازدهار في هذا الموضع، ما دام يجري التخلّص من الإنتروبيا في ذاك. والحياة، التي تعد من بين الإنجازات الرئيسية للتطور، تجسّد هذه الآلية، وتستهلك الطاقة العالية الجودة، وتستخدمها في الحفاظ على ترتيباتها المنظمة وتعزيزها، والتخلّص من المخلّفات العالية الإنتروبيا برميها إلى البيئة. وعبر مليارات الأعوام، أدى التبادل التعاوني بين الإنتروبيا والتطوّر إلى ترتيبات جُسَيْمية رائعة، بما في ذلك حياة وعقل قادرين على إنتاج السيمفونية التاسعة، وعدد أكبر بكثير من الأرواح والعقول القادرة على الإحساس بسموِّها.

وبينما نتحوّل عن الرحلة التي أخذتنا من الانفجار العظيم إلى بيتهوفن ونتجه صوب المستقبل، هل سيظل التطور والإنتروبيا عاملَيْن حاسمَيْن في توجيه التغيير؟ بالنسبة إلى التطور الداروين، قد تعتقد بأن الإجابة هي لا[1]. فاعتماد النجاح التكاثري على التركيب الجيني هو السبب الذي جعل الانتخاب الداروين يقود السفينة التطورية

لزمن طويل. وثمة فارق عظيم التأثير ظهر في الآونة الأخيرة ويتمثّل في تدخل الطب الحديث والحماية التي توفّرها الحضارة بصورة عامة. فالأنماط الجينية التي كان من الممكن أن تجد الحياة في السافانا الأفريقية القديمة الشديدة الصعوبة من الممكن أن تُبلي بلاءً حسنًا في مدينة نيويورك اليوم. وفي أجزاء كثيرة من العالم، لم يعد تكوينك الوراثي هو العامل المهيمن الذي يحدّد ما إذا كنت ستموت في الطفولة أم تنجب ذرية وفيرة كشخص بالغ. بطبيعة الحال عملت التطوّرات الحديثة على ضبط الضغوط الانتخابية السابقة، من خلال إتاحة فرص وراثية متساوية في بعض النطاقات، ومن ثم تمارس تأثيرها التطوري الخاص. ويشير الباحثون أيضًا إلى العديد من الضغوط من بينها الخيارات الغذائية (مثلًا، النظم الغذائية الغنية بمنتجات الألبان توائم الأجهزة الهضمية التي يستمر فيها إنتاج إنزيم اللاكتاز إلى ما بعد مرحلة الطفولة)، والظروف البيئية (مثلًا، العيش على ارتفاعات عالية يمنح مزية إلى أوجه التكيف المرتبطة بالبقاء على قيد الحياة بقدر أقل من الأكسجين المتاح)، وتفضيلات التكاثر (مثلًا، قد يتطوّر متوسط طول القامة في بعض البلدان نحو الأطوال التي يعتبرها أولئك الناشطون من الناحية التكاثرية أكثر جاذبية) التي تقود الاتجاهات في مجموعة الجينات[2]. غير أن التأثير الأكبر قاطبة ربما يأتي من قدرتنا المُكتشفَة حديثًا على تحرير التكوين الجيني مباشرة. وتمتلك التقنيات السريعة التطوّر بالقدرة على تعزيز آليات الاختلاف الجيني، والتضافر العشوائي، والخلط الجنسي، كي تشمل التصميم الإرادي. وإذا اكتشف باحث ما عملية إعادة توليف جينية من شأنها أن تطيل عمر الإنسان إلى مائتي عام، ولها آثار جانبية تتمثل في لون الجلد الأزرق السماوي، وقامة تبلغ عشر أقدام، ورغبة جنسية نهمة تجاه البشر ذوي لون البشرة الأزرق، فسيظهر التطور بوضوح كامل بينما تنتشر مجموعة معمرة مُنتخبَة ذاتيًا من البشر الذين يشبهون جنس النافي بسرعة[1]. وفي ضوء إمكانية إعادة تشكيل الحياة بالكامل وربما تصميم نسخة من الوعي -بيولوجية أو اصطناعية أو هجين من النوعين- ربما تتضاءل إلى جوارها قدراتنا الحالية، لن يستطيع أحد أن يخمن إلى أين سيقودنا هذا كله.

بالنسبة إلى الإنتروبيا، فإن الإجابة عن سؤال الأهمية المستقبلية هي بالتأكيد نعم. قبل عدة فصول وجدنا أن القانون الثاني للديناميكا الحرارية هو نتيجة عامة لتطبيق التفكير الإحصائي على القوانين الفيزيائية الأساسية. هل يمكن للاكتشافات المستقبلية

(1) النافي، جنس خيالي أزرق اللون يسكن كوكب يُسمى باندورا من صنيعة خيال المخرج جيمس كاميرون في فيلم أفاتار (المترجم).

أن تعدل القوانين التي نعتبرها الآن أساسية؟ هذا أمر شبه مؤكد. وهل ستحافظ الإنتروبيا والقانون الثاني على أهميتهما التفسيرية؟ هذا أمر شبه مؤكّد أيضًا. خلال الانتقال من الإطار الكلاسيكي إلى الإطار الكمي المختلف جذريًا، تطلّبت الرياضيات التي تصف الإنتروبيا والقانون الثاني تحديثًا، ولكن نظرًا إلى أن هذه المفاهيم تنبثق من التفكير الاحتمالي الأساسي، فإنها تنطبق بالكيفية نفسها. ونتوقعّ أن يحدث الأمر نفسه بغضّ النظر عن التطورات المستقبلية في فهمنا للقانون الفيزيائي. لا يعني ذلك أننا غير قادرين على تخيل القوانين الفيزيائية التي من شأنها أن تجعل الإنتروبيا والقانون الثاني غير مهمَّين، ولكن سيتعين أن تكون القوانين مخالفة تمامًا لسمات الواقع المتأصلة في كل ما نعرفه وكل ما قمنا بقياسه، وهذا يجعل جُل الفيزيائيين يستبعدون هذه الاحتمالية.

عند تصور المستقبل، يحيط المزيد من عدم اليقين بالسيطرة التي سنمتلكها نحن، أو صورة مستقبلية ما من صور الذكاء، على البيئة المحيطة. هل يمكن للحياة الذكية أن توجّه المصير الطويل الأمد للنجوم والمجرات وحتى الكون ككل؟ هل يمكن لمثل هذا الذكاء أن يغيّر الإنتروبيا عمدًا على نطاقات ضخمة، مما يؤدّي فعليًا إلى خفض الإنتروبيا في مساحات شاسعة من الفضاء، في نسخة كونية من رقصة الإنتروبيا الثنائية؟ وهل يمكن لهذا الذكاء أن يمتلك القدرة على تصميم وإنشاء أكوان جديدة كاملة؟ مهما بدت هذه الأنشطة بعيدة عن التصوّر، فإنها تظلّ محتمَلة. وتتمثّل المعضلة بالنسبة لنا في أن تأثيرها على المستقبل يتجاوز تمامًا قدرتنا على التنبؤ. وحتى في عالم يطيع قوانين الفيزياء، عالم يفتقر إلى الإرادة الحرّة التقليدية، فإن الذخيرة السلوكية الواسعة للذكاء -نسخة الحرية التي يكتسبها- تجعل أنواعًا معينة من التنبوءات مستحيلة بشكل أساسي. لا ريب في أن التفكير المستقبلي سيكتسب أساليب وتقنيات حسابية لا نظير لها، لكنني أظن بأن التنبؤ بالتطورات الطويلة المدى المعتمدة بشكل وثيق على الحياة والذكاء سيظل بعيد المنال.

كيف نمضي قُدُمًا إذًا؟

سنفترض أن قوانين الفيزياء كما هي معروفة حاليًا، والتي تعمل بالطريقة غير الموجَّهة التي يُفترض أنها تعمل بها منذ الانفجار العظيم، ستظلّ هي التأثير المهيمن الذي يوجّه تطور الكون. لن نفكر في احتمالية تغير القوانين نفسها أو حتى «الثوابت» العددية للطبيعة. ولن نضع في الاعتبار احتمال أن هذه القوانين أو الثوابت تتغير بالفعل ببطء، وهي تعديلات قد تكون حاليًا أصغر من أن تترك أثرًا ولكنها ربما تكون موجودة وربما تتراكم على مدى فترات زمنية شاسعة لتتحوّل إلى تغير جوهري[3]. كما أننا لن نفكر في احتمال تضخم النطاق التي سيمارس الذكاء المستقبلي عليه التحكم الهيكلي

إلى مقاييس المجرات وما وراءها. هذا عدد كبير من المحاذير. ولكن في غياب أي دليل يرشدنا، فإن دراسة هذه الاحتمالات ستكون بمنزلة محاولة الصيد في الظلام. وإذا تعارضت هذه الافتراضات مع توقّعاتك للمستقبل، فيمكنك النظر إلى السرد الوارد في هذا الفصل والفصل الذي يليه على أنه يعكس التطوّرات الكونية التي من شأنها أن تحدث في غياب هذا التغيير أو التدخل الذكي. وأظن أن الوضوح الذي ستجلبه الاكتشافات المستقبلية علاوة على التأثيرات التي سيمارسها الذكاء المستقبلي لن تتطلّب إعادة كتابة كاملة لتطوّر الكون الذي سنستعرضه، حتى وإن كانت هذه الاكتشافات وثيقة الصلة بالتأكيد بالسرد التالي[4]. ربما يكون هذا الافتراض جريئًا، لكنه أسرع طريق للمضي قدُمًا، وهو الطريق الذي سنسلكه الآن في جرأة[5].

وكما ستوضح الصفحات التالية، فإن حقيقة أننا قادرون على بناء سردٍ مُقنع، حتى وإن كان غير نهائي، يوضح التطور الكوني في المستقبل البعيد تعدّ إنجازًا غير عادي، تحقَّق على أيدي الكثيرين، ويعَدّ رمزًا لتوق الإنسان إلى الترابط شأنه شأن القصص والأساطير والأديان والإبداعات الفنية الأثيرة لدينا.

امبراطورية الزمن

كيف ننظّم تفكيرنا بشأن المستقبل؟ الحدس البشري مهيّأ تمامًا لفهم المقاييس الزمنية للخبرة المشتركة، ولكن عند تحليل الحقب الكونية الرئيسية في المستقبل سوف ندخل عوالم زمنية شاسعة، إلى درجة أن أفضل التشبيهات لدينا سيعجز عن تقديم أكثر من تلميح للفترات الزمنية المعنية. ومع ذلك، فلا توجد طريقة أفضل من التشبيهات القائمة على المقاييس المألوفة كي توفّر موطئ قدم ذهنيًا لمثل هذا الصعود غير المألوف، لذا دعونا نتخيّل أن الخط الزمني للكون يمتد صاعدًا مبنى الإمباير ستايت، حيث يمثّل كل طابق حقبة زمنية تعادل عشرة أمثال الحقبة السابقة عليها. يمثل الطابق الأول عشر سنوات بعد الانفجار العظيم، والطابق الثاني مائة عام، والطابق الثالث ألف عام، وهكذا. كما توضح الأرقام، فإن الفترات الزمنية تزداد بسرعة خلال صعودنا طابقًا تلو الآخر، وهذا أمر يسهل وصفه، لكن يصعب استيعابه. فعلى سبيل المثال، الصعود من الطابق الثاني عشر إلى الطابق الثالث عشر يعادل دراسة الكون خلال الفترة الممتدة بين تريليون عام بعد الانفجار العظيم وعشرة تريليونات عام بعد الانفجار العظيم. وعند صعود هذا الطابق الفردي، تنقضي تسعة تريليون عام، وهو ما يجعل الفترة الكاملة التي تمثلها جميع الطوابق السابقة تبدو شديدة الصغر بالمقارنة. يظل النمط ذاته ثابتًا مع مواصلة الصعود إلى أعلى: فالمدة التي يمثلها كل طابق أكبر بكثير –أكبر بقيمة أسّيّة– من المدة التي تمثلها الطوابق أدناه.

مع امتداد حياة الإنسان لما يقرب من مائة عام، ودوام الإمبراطوريات المعمِّرة لنحو ألف عام، وبقاء الأنواع القوية لملايين السنين، فإن الطوابق الأعلى من مبنى الإمباير ستايت تمثّل فترات متمايزة تمامًا، تفصل بينها دهور في ما يبدو. وعندما نصل إلى سطح المراقبة على المبنى، في الطابق الـ86، سيكون قد مر على الانفجار العظيم 10^{86} عام -أي

100,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000

000,000 ,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000, عام- وهو مقياس زمني مذهل يتفوق بفارق شاسع على أي فترة زمنية ذات صلة بأي مسعى بشري. ومع ذلك، على الرغم من كل هذه الأصفار، عندما ننتقل إلى المهبط العلوي للمبنى، عند الطابق الـ102، فإن المدة التي يمثلها سطح المراقبة، بالمقارنة، ستكون أقل بكثير من سُمك طبقة الطلاء التي تكسو هذا المهبط الأخير.

اليوم، مضى نحو 13,8 مليار عام على الانفجار العظيم، مما يعني أن جميع التطورات التي نُوقشت في الفصول السابقة موزعة بين الطابق الأرضي لمبنى الإمباير ستايت وبضع درجات سلم قليلة فوق الطابق العاشر. ومن هذه النقطة ننطلق نحو حقب زمنية بعيدة للغاية في المستقبل.

دعونا نصعد.

الشمس السوداء

أدرك أسلافنا الأوائل الأهمية المحورية لعين السماء اليقظة، ذلك الحضور المتّقد الذي تحدث في ضوئه مجريات الوجود اليومي، وتحقّق هذا الإدراك من دون حتى أن يفهموا أن الشمس تغمر الأرض بسيل متواصل من الطاقة المنخفضة الإنتروبيا الضرورية للحياة. ومع كل غروب للشمس، أدركوا أنها ستشرق مجدّدًا، إذ استقرأوا أوضح أنماط العالم وأكثرها موثوقية. ولكن من المؤكد بالقدر عينه من الموثوقية أن هذا الإيقاع سينتهي يومًا ما.

لما يقرب من خمسة مليارات عام، دعمت الشمس كتلتها الهائلة ضد قوة الجاذبية الساحقة بواسطة الطاقة الناتجة عن اندماج نوى الهيدروجين في قلبها. وهذه الطاقة تحرك بيئة محمومة من الجُسَيْمات السريعة الحركة التي تبذل ضغطًا قويًا إلى الخارج. ومثل الضغط الناتج عن مضخة الهواء الذي يدعم منزل الأطفال المطاطي القابل للنفخ، فإن الضغط الناتج عن الاندماج النووي في قلب الشمس يدعمها، ويمنعها من الانهيار تحت وطأة ثقلها الهائل. هذه المواجهة بين قوة الجاذبية التي تسحب

إلى الداخل والجُسَيْمات التي تدفع إلى الخارج ستظل ثابتة لنحو خمسة مليارات عام أخرى. لكن التوازن سينقلب بعد ذلك. وعلى الرغم من أن الشمس ستظل ممتلئة بنوى الهيدروجين، فلن يوجد أي منها تقريبًا في القلب. إن اندماج الهيدروجين ينتج الهيليوم، ونوى الهيليوم أثقل وأشد كثافة من الهيدروجين، وهكذا مثلما يزيح الرمل الذي نرميه في البركة الماءَ بينما يملأ قاعها، فإن الهيليوم يزيح الهيدروجين بينما يملأ مركز الشمس.

وهذه مشكلة كبيرة.

إن مركز الشمس هو المكان الذي توجد فيه أعلى درجات الحرارة، وتبلغ حاليًّا نحو خمسة عشر مليون درجة، وهي أعلى بعشرة ملايين درجة من الدرجة المطلوبة لدمج نوى الهيدروجين إلى هيليوم. غير أن دمج نوى الهيليوم يتطلب درجة حرارة تبلغ نحو مائة مليون درجة. وبما أن درجة حرارة الشمس ليست قريبة البتة من هذه العتبة، وبينما يزيح الهيليوم الهيدروجين في القلب، فإن إمدادات وقود الاندماج سوف تتضاءل. سوف يتضاءل الضغط الصادر عن إنتاج الطاقة بالاندماج في القلب، والذي يدفع إلى الخارج، ومن ثَم ستكون لقوة الجاذبية التي تسحب إلى الداخل اليد العليا. وستبدأ الشمس في الانهيار على نفسها. ومع انهيار ثقلها المذهل إلى الداخل، سترتفع درجة حرارة الشمس ارتفاعًا كبيرًا. وستؤدي الحرارة والضغط الشديدان، اللذان لا يزالان أقل من الظروف اللازمة لبدء احتراق الهيليوم، إلى إطلاق جولة جديدة من الاندماج داخل غلاف رقيق من نوى الهيدروجين يحيط بالقلب المؤلف من الهيليوم. وفي هذه الظروف المتطرّفة، سيستمر اندماج الهيدروجين بوتيرة استثنائية، مما ينتج عنه دفعة إلى الخارج أشد حدة مما شهدته الشمس في أي وقت مضى، ولن توقف هذه الدفعة الانفجار الداخلي وحسب، بل ستسبب أيضًا تضخّم الشمس بشكل هائل.

أما عن مصير الكواكب الداخلية فيعتمد على عاملين: ما الحجم الذي ستصل إليه الشمس؟ وفي غضون ذلك، ما مقدار الكتلة التي ستتخلص منها الشمس؟ سبب أهمية السؤال الأخير هو أنه بينما يعمل محركها النووي بأقصى سرعة، فإن كميات غزيرة من الجُسَيْمات الموجودة في الطبقة الخارجية للشمس ستنطلق بثبات في الفضاء. وبالتبعية، ستكون نتيجة انخفاض كتلة الشمس هي تناقص قوة الجاذبية الخاصة بها، مما يتسبب في هجرة الكواكب إلى مدارات بعيدة. وسيعتمد مستقبل أي كوكب على ما إذا كان بإمكان مساره المتراجع أن يسبق الشمس الآخذة في التضخم.

خلصت عمليات المحاكاة الحاسوبية التي تتضمن نماذج شمسية مفصلة إلى أن كوكب عطارد سيخسر السباق وستبتلعه الشمس المتضخمة، وسيتبخر بسرعة. أما المريخ

فسيتمتع ببداية قوية نظرًا إلى أنه يدور على مسافة أكبر، وسيكون آمنًا. من المرجح أن ينتهي أمر كوكب الزهرة، بيد أن بعض عمليات المحاكاة خلصت إلى أن الشمس المتضخمة قد لا تصل إلى مداره المتراجع، وإذا صح هذا، فسينطبق ذلك على الأرض أيضًا[6]. ولكن حتى إذا نجت الأرض، فإن الظروف هنا ستتغير تغيرًا عميقًا؛ إذ سترتفع درجة حرارة سطح الأرض إلى آلاف الدرجات، وهي حرارة تكفي لتجفيف المحيطات، ومحو الغلاف الجوي، وإغراق السطح بالحمم البركانية المنصهرة. من المؤكد أن الظروف ستكون غير سارة، لكن سيكون مشهد الشمس الحمراء العملاقة التي تملأ السماء خلّابًا بحق. ومع ذلك، فمن المؤكد تقريبًا أنه لن يستطيع أحد رؤية هذا المشهد. وإذا ظل أحفادنا باقين على قيد الحياة (بعد أن نجحوا في تفادي التدمير الذاتي، ومسببات الأمراض الفتاكة، والكوارث البيئية، والكويكبات القاتلة، والغزوات الفضائية، من بين الكوارث المحتملة الأخرى)، وإذا كانوا يهدفون إلى الحفاظ على البقاء، فمن المؤكد أنهم سيغادرون الأرض قبل فترة طويلة من حدوث ذلك بحثًا عن موطن ملائم لاستضافة الحياة.

مع استمرار اندماج نوى الهيدروجين المحيطة بقلب الشمس المؤلف من الهليوم، فإن الهيليوم الإضافي الذي تنتجه سيتساقط، مما يجبر القلب على الانكماش بدرجة أكبر ويرفع حرارته أكثر. وستؤدّي درجة الحرارة المرتفعة بدورها إلى تسريع الدورة، بحيث تزيد معدل اندماج الهيدروجين في الغلاف المحيط، وتزيد حدة عاصفة الهيليوم التي تضرب القلب، وترفع درجة الحرارة أكثر وأكثر. وبعد نحو خمسة مليارات ونصف المليار عام من الآن، ستكون درجة حرارة القلب أخيرًا ساخنة بما يكفي لدعم الاحتراق النووي للهيليوم، وإنتاج الكربون والأكسجين. وبعد ثوران مذهل ولكنه مؤقت، يشير إلى الانتقال إلى اندماج نوى الهيليوم باعتباره مصدر الطاقة المهيمن على الشمس، ستنكمش الشمس مجددًا في الحجم وتستقر في ترتيب أهدأ.

بيد أن الاستقرار الجديد سيكون قصير الأجل نسبيًا. ففي غضون نحو مائة مليون عام، ومثلما أزاح الهيليوم الثقيل الهيدروجين الأخف، سيفعل الكربون والأكسجين الأثقل الشيء نفسه مع الهيليوم الأخف، ويهيمنان على قلب الشمس ويدفعان الهيليوم إلى الطبقات المحيطة. يتطلب الاحتراق النووي لمكونات القلب الجديدة، الكربون والأكسجين، درجات حرارة أعلى، لا تقل عن ستمائة مليون درجة. ونظرًا إلى أن درجة حرارة قلب الشمس أقل كثيرًا من هذا، فإن الاندماج النووي سيتوقف مرة أخرى، وستهيمن الجاذبية التي تسحب إلى الداخل مرة أخرى، وستنكمش الشمس مرة أخرى، وسترتفع درجة حرارة القلب مرة أخرى.

في المرحلة السابقة على هذه الدورة، دشنت درجة الحرارة المتزايدة اندماج نوى

الهيدروجين الموجودة في الغلاف المحيط بالقلب المؤلف من الهيليوم. والآن، ستدشن درجة الحرارة المتزايدة اندماج نوى الهيليوم المحيطة بالقلب المؤلف من الكربون والأكسجين. لكن في هذه الجولة، لن تصل درجة حرارة القلب أبدًا إلى القيمة المطلوبة لإعادة إشعال الاحتراق النووي هناك. فكتلة الشمس منخفضة جدًّا بحيث لا توفر السحق الضروري الدافع لدرجة الحرارة والذي من شأنه، في النجوم الكبيرة، أن يدشّن اندماج نوى الكربون والأكسجين إلى نوى أثقل وأكثر تعقيدًا. وبدلًا من ذلك، بينما يحترق غلاف الهيليوم، ويغمر القلب بالكربون والأكسجين حديثي الصنع، سيواصل القلب الانكماش إلى أن تتسبّب عملية كمية –تُسمى مبدأ الاستبعاد لباولي– في إيقاف الانهيار الداخلي[7].

في العام 1925، أدرك الفيزيائي النمساوي فولفجانج باولي، وهو رائد من رواد ميكانيكا الكمّ اشتُهر بسخريته اللاذعة («لا أعترض على بطء تفكيرك، لكنني أعترض على نشر أعمالك بأسرع مما تفكر»[8])، أن ميكانيكا الكمّ تضع حدًّا على المدى الذي يمكن به حشد إلكترونيْن متجاورين معًا (على نحو أدق، تستبعد ميكانيكا الكم أن يشغَل أي جُسَيْمين متطابقين من جُسَيْمات المادة كمية متطابقة، لكن الوصف التقريبي سيكون كافيًا). بعد ذلك بوقت قصير، أظهرت الرؤى الجماعية لعدد من الباحثين أن نتيجة باولي، على الرغم من تركيزها على الجُسَيْمات الدقيقة، كانت المفتاح لفهم مصير الشمس، وكذلك مصير جميع النجوم المتشابهة في الحجم. فمع انكماش الشمس، ستحتشد الإلكترونات الموجودة في القلب بشكل أكثر إحكامًا، مما يضمن أن تصل كثافة الإلكترونات عاجلًا أو آجلًا إلى الحد الذي حدّدته نتيجة باولي. وعندما يؤدي مزيد من الانكماش إلى انتهاك مبدأ باولي، يحدث تنافر كَمّي قوي، وتقف الإلكترونات في موضعها، وتطالب بمساحتها الشخصية، وترفض التقارب معًا أكثر من ذلك. ويتوقّف انكماش الشمس[9].

بعيدًا عن القلب، ستواصل الأغلفة الخارجية للشمس التمدد وتنخفض حرارتها، وفي النهاية تنجرف إلى الفضاء، تاركةً وراءها كرة كثيفة بشكل مذهل من الكربون والأكسجين، تُسمى النجم القزم الأبيض، والتي ستستمر في التوهج لبضعة مليارات الأعوام. ومن دون درجة الحرارة المطلوبة لمزيد من الاندماج النووي، ستتبدد الطاقة الحرارية ببطء في الفضاء، ومثل التوهج النهائي لجمرة محترقة، ستبرد الشمس المتبقية وتخفت، وتتحول في النهاية إلى كرة متجمدة داكنة. وبعد درجات قليلة من الطابق العاشر، سينطفئ ضوء الشمس.

إنها نهاية حميدة، خاصةً عند مقارنتها بالنهاية الكارثية التي ربما تنتظر الكون بأكمله بينما نواصل صعودنا إلى الطابق التالي.

التمزّق العظيم

إذا ألقيت تفاحة إلى الأعلى، ستضمن قوة الجاذبية الأرضية التي لا هوادة فيها أن تتباطأ سرعتها بثبات. هذا تدريب مبتذل له أهمية كونية عميقة. فمنذ ملاحظات إدوين هابل في عشرينيات القرن الماضي، علمنا أن الفضاء يتمدّد: إذ تندفع المجرّات مبتعدة بعضها عن بعض[10]. ولكن كما هو الحال مع التفاحة المقذوفة، فإن قوة الجاذبية التي تبذلها كل مجرة على غيرها من المجرات ستتسبب بالتأكيد في إبطاء هذه الهجرة الكونية. إن الفضاء آخذ في التمدد، غير أن معدل التمدد يتناقص بالتأكيد. وفي تسعينيات القرن الماضي، وبدافع من هذا التوقّع، شرع فريقان من علماء الفلك في قياس معدل التباطؤ الكوني. وبعد نحو عقد من العمل أعلنوا عن نتائجهم، وزلزلوا أركان المجتمع العلمي[11]. فقد كانت التوقّعات خاطئة. ومن خلال الملاحظات المضنية لانفجارات المستعرات العظمى البعيدة، وهي منارات قوية يمكن رؤيتها وقياسها بوضوح عبر أرجاء الكون، اكتشف العلماء أن التمدّد لا يتباطأ. بل يتسارع. وليس الأمر كما لو أن هذا التغير في السرعة الكونية قد حدث البارحة. فقد رصد الباحثون، المذهولون، مشاهدات فلكية تؤكد أن سرعة التمدد ازدادت خلال الخمسة مليارات عام الماضية.

كان التوقع الذي يقضي بتباطؤ معدل التمدد مقبولًا على نطاق واسع لأنه منطقي. أما اقتراح أن تمدّد الفضاء يتسارع فيبدو، للوهلة الأولى، سخيفًا مثل توقع أن تترك التفاحة المقذوفة بلطف يدك وتندفع كالصاروخ نحو السماء. إذا رأيت شيئًا عجيبًا كهذا، فستبحث عن قوة خفية، تأثير مهمل مسؤول عن دفع التفاحة إلى الأعلى. وبالمثل، عندما قدّمت البيانات أدلة دامغة على أن تمدد الفضاء يتسارع، لملم الباحثون شتات أنفسهم، وأمسكوا بأصابع الطباشير، وأخذوا يبحثون عن السبب.

يقوم التفسير الرئيسي على سمة محورية للنظرية النسبية العامة لأينشتاين التي تعرضنا لها في مناقشتنا لعلم الكونيات التضخّمي في الفصل الثالث[12]. تذكّر أنه وفقًا لكل من نيوتن وأينشتاين، فإن كتل المادة مثل الكواكب والنجوم تبذل قوة جاذبة مألوفة، ولكن وفق نهج أينشتاين يتسع نطاق الجاذبية. فإذا لم تكن منطقة ما من الفضاء تحوي أي كتلة، ولكنها بدلًا من ذلك مملوءة على نحو متجانس بمجال طاقة –الصورة المفضلة التي قدمتها سابقًا هي بخار الماء الذي يملأ غرفة الساونا– فإن قوة الجاذبية الناتجة ستكون طاردة. في علم الكونيات التضخّمي، يتصور الباحثون أن مثل هذه الطاقة يحملها مجال من نوع غريب (مجال التضخم)، وتقترح النظرية أن الجاذبية الطاردة القوية لهذا المجال هي التي دفعت الانفجار الأعظم. وعلى الرغم من أن هذا الحدث وقع منذ ما يقرب من أربعة عشر مليار عام، يمكننا اتباع نهج مماثل لتفسير التمدّد المتسارع للفضاء الذي نرصده حاليًا.

إذا تخيلنا أن الفضاء كله مملوء على نحو متجانس بمجال طاقة آخر -نسميها *الطاقة المظلمة* لأنها لا تولّد أي ضوء، ومن الممكن بالمثل أن نسميها *الطاقة غير المرئية*- يمكننا تفسير سبب ابتعاد المجرات بعضها عن بعض على نحو متسارع. فنظرًا إلى أن المجرات كتلٌ من المادة، فإنها تبذل قوة جاذبة، بحيث يسحب بعضها بعضًا إلى الداخل ومن ثَم تُبطئ الهجرة الكونية. وبسبب التوزيع المتجانس للطاقة المظلمة فإنها تبذل قوة طاردة، وتدفع المجرات إلى الخارج ومن ثَم تُسَرِّع الهجرة الكونية. ولتفسير التمدد المتسارع الذي رصده الفلكيون، ستحتاج قوة الدفع التي تبذلها الطاقة المظلمة إلى التفوق على الجاذبية الجماعية للمجرات، بقدر يسير وحسب. ومقارنةً بالتضخم الهائل للفضاء الذي حدث خلال الانفجار العظيم، فإن التمدّد الذي نشهده اليوم لطيف، ولذا فإن الطاقة المظلمة الضئيلة هي كل ما نحتاجه. وفي الواقع، في المتر المكعب النموذجي من الفضاء، من شأن كمية الطاقة المظلمة المطلوبة لدفع التسارع المجرّي المرصود أن تُشَغِّل مصباحًا قدرته مائة واط لنحو خمسة أجزاء من التريليون من الثانية، وهي فترة شديدة الضآلة[13]. غير أن الفضاء يحتوي على الكثير من الأمتار المكعبة. وتتّحد الدفعة الطاردة التي يسهم بها كل متر منها لتنتج قوة طاردة قادرة على دفع التمدد المتسارع الذي قاسه الفلكيون.

ثمة أدلة مُقنعة على وجود الطاقة المظلمة، لكنها أدلة ظرفية. فلم يجد أحد طريقةً لرصد الطاقة المظلمة، وإثبات وجودها، وفحص خصائصها مباشرةً. ومع ذلك، نظرًا إلى أن الطاقة المظلمة تفسِّر المشاهدات ببراعة، فقد أضحت التفسير الواقعي لتمدد الفضاء المتسارع. غير أن الأمر الأقل وضوحًا هو السلوك الطويل الأمد للطاقة المظلمة. ومن أجل التنبؤ بالمستقبل البعيد، من الضروري التفكير في الاحتمالات الواردة. وأبسط سلوك يتفق مع كل المشاهدات هو أن قيمة الطاقة المظلمة لا تتغير على مدار الزمن الكوني[14]. لكن رغم أن التفسيرات البسيطة مُفَضَّلة من الناحية المفاهيمية، فإن هذا لا يعني أنها حقيقية بالضرورة. إن الوصف الرياضي للطاقة المظلمة يسمح لها بأن تصير أضعف، مما يؤدي إلى كبح جماح التمدّد المتسارع، أو أقوى، مما يعزّز التمدّد المتسارع أكثر وأكثر. وبالنظر من الطابق الحادي عشر، فإن الموقف الأخير -زيادة قوة الجاذبية الطاردة- هو أسوأ الاحتمالات المشؤومة، وإذا تحقق، فهذا يعني أننا نندفع نحو مصير عنيف يسميه الفيزيائيون *التمزق الكبير*.

من شأن قوة الجاذبية الطاردة المتزايدة أن تتغلّب، بمرور الوقت، على كل القوى التي تربط المادة معًا، مما يؤدي إلى تمزق كل شيء. إن ما يُبقي جسمك سليمًا ومتماسكًا هي القوة الكهرومغناطيسية، التي تربط مكوناتك الذرية والجزيئية معًا، وأيضًا القوة النووية الشديدة، التي تربط البروتونات والنيوترونات معًا داخل نوى ذرات الجسم. ونظرًا إلى أن

هذه القوى أقوى بكثير من القوة الدافعة إلى الخارج للفضاء المتمدّد، فإن جسمك يظل متماسكًا. وإذا كان حجم جسمك يزداد، فإن هذا ليس راجعًا إلى تمدد الفضاء. ولكن إذا زادت قوة الدفع الطاردة أكثر، فإن الفضاء داخل جسمك سيتمدد في النهاية بقوة دفع خارجية قوية بحيث يتغلب على القوى الكهرومغناطيسية والنووية التي تحافظ على ترابط مكونات جسمك معًا. وسوف تنتفخ وتنفجر في النهاية، وكذلك كل شيء آخر.

تعتمد التفاصيل على المعدل الذي تزداد به الجاذبية الطاردة، ولكن في مثال توضيحي واحد وضعه علماء الفيزياء روبرت كالدويل ومارك كاميونكوفسكي ونيفين واينبرغ، فبعد نحو عشرين مليار عام من الآن ستفكّك الجاذبية الطاردة عناقيد المجرات، وبعد ذلك بنحو مليار عام ستنطلق النجوم التي تشكل مجرة درب التبانة مثل شرارات عروض الألعاب النارية، وبعد نحو ستين مليون عام من ذلك ستنطلق الأرض وكواكب المجموعة الشمسية الأخرى مبتعدةً عن الشمس، وبعد بضعة أشهر، ستؤدي قوة الجاذبية الطاردة بين الجزيئات إلى انفجار النجوم والكواكب، ومع ثلاثين دقيقة أخرى فقط، سيكون التنافر بين الجُسَيمات التي تشكّل الذرات المنفردة قويًّا جدًّا إلى درجة أنها ستفكك[15]. وتعتمد الحالة النهائية للكون على الطبيعة الكمية غير المعروفة حاليًّا للزمن والمكان. وبعبارات فضفاضة تفتقر حاليًّا إلى الدقة الرياضية، من الممكن أن تؤدّي الجاذبية الطاردة إلى تمزيق نسيج الزمكان نفسه. لقد بدأ الواقع بانفجار، وفي وقت ما قبل أن نصل إلى الطابق الحادي عشر، أي بعد مائة مليار عام من الانفجار العظيم، قد ينتهي بتمزق.

في حين أن المشاهدات الحالية تسمح بوجود طاقة مظلمة تزداد قوة، إلّا أنني أرى أن هذا الاحتمال مستبعد، ويشاركني في هذا الرأي كثيرون من الفيزيائيين الآخرين. عند دراسة المعادلات أشعر بأن الحسابات الرياضية صحيحة، بالكاد، غير أن المعادلات ليست طبيعية أو مُقنِعة. وهذا الحكم يستند إلى عقود من الخبرة، وليس برهانًا رياضيًّا، لذا بالتأكيد قد يكون خاطئًا. ومع ذلك، فإنه يوفر دافعًا أكثر من كافٍ للتفاؤل وافتراض أن التمزّق الكبير لن يجعل الطوابق اللاحقة لمبنى الإمباير ستايت غير ذات أهمية. وفي ضوء هذا الرأي، سنواصل رحلتنا عبر الخط الزمني.

ولا نحتاج إلى الصعود بعيدًا قبل أن نواجه الحدث المحوري التالي.

منحدرات الفضاء

إذا لم تزدَد قوة الجاذبية الطاردة، وظلت ثابتة، يمكننا جميعًا أن نتنفّس الصعداء؛ إذ لم يعد الانفجار نتيجة الفضاء المتمدّد مصدر قلق. ولكن بما أن الجاذبية الطاردة ستستمر في دفع المجرات البعيدة بسرعة أكبر، فستظل لها نتيجة عميقة طويلة المدى:

ففي غضون نحو تريليون عام ستصل سرعة المجرات البعيدة المبتعدة إلى سرعة الضوء، ثم تتجاوزها، وهو ما ينتهك في ما يبدو القاعدة الأشهر في عالم أينشتاين. يوضح الاستقصاء الدقيق أن القاعدة ستظل قائمة في حقيقة الأمر؛ إذ إن مقولة أينشتاين الشهيرة التي تذهب إلى أن لا شيء بإمكانه أن يتجاوز سرعة الضوء تشير فقط إلى سرعة الأجسام التي تتحرّك عبر الفضاء. المجرّات لا تتحرك عبر الفضاء على الإطلاق، فهي غير مزودة بمحركات صاروخية. ومثلما تتباعد نقاط الطلاء البيضاء الملتصقة ببالون مطاطي عندما ينتفخ البالون ويتمدد، فإن المجرات، في الغالب الأعم، تلتصق بنسيج الفضاء وتتحرك مبتعدة بسبب تضخم الفضاء. وكلما كانت إحدى المجرات بعيدة عن أخرى، زادت المسافة المتضخّمة المتداخلة بينهما، ومن ثم ستنفصل المجرات بشكل أسرع. ولا يفرض قانون أينشتاين أي قيود على سرعة هذا التباعد.

على الرغم من ذلك، لا يزال حد سرعة الضوء مُهمًّا للغاية. فالضوء الذي ينبعث من كل مجرة ينتقل بالفعل عبر الفضاء. ومثلما سيُعاق راكب قارب الكاياك إذا أخذ يجدف عكس التيار بسرعة تقل عن سرعة التيار نفسه، فإن الضوء المنبعث من مجرة تندفع بسرعة فائقة سيخوض معركة خاسرة بينما يحاول الوصول إلينا. فالضوء الذي يقطع الفضاء بسرعة الضوء لا يمكنه التغلب على زيادة المسافة الأسرع من الضوء إلى الأرض. ونتيجة لذلك، عندما ينظر علماء الفلك المستقبليون إلى ما وراء النجوم القريبة ويركّزون تليسكوباتهم على أعمق أجزاء سماء الليل، فإن كل ما سيرونه هو الظلام الأسود المخملي. وستكون المجرات البعيدة قد ابتعدت إلى ما وراء حدود ما يسميه علماء الفلك *أفقنا الكوني*. سيكون الأمر كما لو أن المجرات البعيدة قد سقطت من جرف على حافة الفضاء.

لقد ركّزتُ على المجرّات البعيدة لأن المجرّات القريبة نسبيًّا، وهي عنقود مكون من نحو ثلاثين مجرة يُعرَف باسم المجموعة المحلية، ستظل مرافقة لنا في رحلتنا الكونية. وفي الواقع، بحلول الطابق الحادي عشر، من المحتمل أن تهيمن مجرتا درب التبانة (ذا ميلكي واي) وأندروميدا، اللتان اندمجتا على الأرجح، على المجموعة المحلية، وأطلق الفلكيون على ذلك الاتحاد المستقبلي المُنتظر اسم ميلكوميدا (كنت سأدعم اسمًا آخر هو أندروميلكي). ستكون جميع نجوم مجرة ميلكوميدا قريبة بما يكفي بحيث تصمد جاذبيتها المتبادلة أمام تمدد الفضاء وتحافظ على المجموعة النجمية سليمة. غير أن اتصالنا المقطوع بالمجرات الأبعد سيكون خسارة فادحة. فمن خلال المشاهدات الدقيقة للمجرات البعيدة أدرك إدوين هابل لأول مرة أن الفضاء يتمدد، وهو اكتشاف تأكد وصُقل من خلال قرن من المشاهدات اللاحقة. ومن دون القدرة

على رصد المجرات البعيدة، سنفقد أداة تشخيص أساسية لتتبّع تمدد الفضاء. والبيانات ذاتها التي وجّهتنا نحو فهمنا للانفجار العظيم والتطوّر الكوني لن تصير متاحة.

اقترح عالم الفلك آفي لوب أن النجوم العالية السرعة التي ستهرب باستمرار من تكتل ميلكوميدا وتنجرف إلى الفضاء السحيق قد توفر بديلًا للمجرات البعيدة، حيث يشبه الأمر إلقاء حبيبات الفشار من الطوف لتتبع التيارات في اتجاه مجرى النهر. ومع ذلك فإن لوب يقرّ أيضًا بأن التمدّد المتسارع الذي لا هوادة فيه سيكون له تأثير مدمّر على قدرة علماء الفلك المستقبليين على إجراء قياسات كونية دقيقة[16]. وكمثال على ذلك، في الطابق الثاني عشر، بعد نحو تريليون عام من الانفجار العظيم، سيكون إشعاع الخلفية الميكروني الكوني الشديد الأهمية، والذي وجه استكشافاتنا الكونية في الفصل الثالث، قد استطال وترقّق نتيجة التمدد الكوني (بالمصطلحات الفنية نقول إنه سيتعرض إلى *انزياح أحمر* شديد) بحيث سيكون من المستحيل رصده على الأرجح.

وهذا يجعلك تتساءل: بافتراض أن البيانات التي جمعناها، والتي تثبت أن الكون يتمدد، حُفظَت بطريقة ما وسُلِّمَت إلى أيدي علماء الفلك بعد تريليون عام من الآن، هل سيصدّقونها؟ باستخدام أحدث معداتهم، التي تطورت على مدار تريليون عام، سيرون كونًا أسود اللون على أكبر المسافات، كونًا أبديًا ثابتًا تمامًا. ولك أن تتخيل أنهم سيُعرضون عن النتائج الغريبة المتوارثة من حقبة قديمة وبدائية -عصرنا- وبدلًا من ذلك يتقبلون الاستنتاج الخاطئ الذي يقضي بأن الكون، بشكل عام، ثابت.

حتى في عالم خاضع لارتفاع لا هوادة فيه في الإنتروبيا، صرنا معتادين على تحسّن دقة القياسات دائمًا، ونمو مجموعات البيانات دائمًا، وصقل فهمنا دائمًا. لكن من الممكن أن يهدم التمدد المتسارع للفضاء هذه التوقعات. ومن الممكن أن يتسبب التمدد المتسارع في ابتعاد المعلومات الأساسية بسرعة كبيرة عنا بحيث يتعذر الوصول إليها. وقد تلوح الحقائق العميقة في صمت لأحفادنا من وراء الأفق.

أفول النجوم

بدأت النجوم الأولى في التكوُّن في الطابق الثامن، بعد نحو مائة مليون عام من الانفجار العظيم، وستستمر في التكوّن ما دامت المواد الخام لصنع نجوم جديدة موجودة. الى متى سيستمر ذلك؟ حسنًا، إن قائمة المكونات قصيرة: فكل ما تحتاجه هو سحابة كبيرة بما يكفي من غاز الهيدروجين. وكما رأينا، تتولى الجاذبية الأمر من هناك؛ إذ تضغط السحابة ببطء، وتسخِّن قلبها، وتشعل الاندماج النووي. وإذا علمت كمية الغاز التي تحويها المجرة، ستعرف المعدل الذي تستنفد به عملية تكوُّن النجوم

هذه، احتياطيات الغاز، ويمكنك تقدير المدة التي ستستمر خلالها عملية تكوُّن النجوم. هناك بعض التفاصيل الدقيقة التي تجعل الحسابات أكثر تعقيدًا (يمكن أن يتغير معدل تكوُّن النجوم في المجرة بمرور الوقت، وعندما تحترق النجوم فإنها تعيد جزءًا من تكوينها الغازي إلى المجرة، مما يؤدي إلى زيادة الاحتياطيات)، ولكن مع الحسابات الدقيقة خلص الباحثون إلى أنه بحلول الطابق الرابع عشر، بعد نحو مائة تريليون عام من الآن، ستقترب عملية تكوُّن النجوم في الغالبية العظمى من المجرات من نهايتها.

بمواصلة الصعود من الطابق الرابع عشر، سنلاحظ شيئًا آخر أيضًا. سوف تتلاشى النجوم الموجودة. فكلما زاد حجم النجم، زادت الوطأة التي يسحق بها ثقله قلبه وارتفعت درجة حرارته المركزية. وبالتبعية، تؤدي درجة الحرارة الأعلى إلى زيادة معدل الاندماج النووي وبذا تحترق احتياطات النجم النووية بصورة أسرع. وفي حين أن الشمس ستتوهَّج في سطوع لنحو عشرة مليارات عام، فإن النجوم الأثقل بكثير ستستنفد وقودها النووي قبل ذلك بزمن طويل. على النقيض من ذلك، فإن النجوم الخفيفة، التي تعادل كتلتها عُشر كتلة الشمس تقريبًا، ستحترق بلطف أكثر ومن ثم تعيش لفترة أطول. يستخدم الفلكيون الاسم الجامع *القزم الأحمر* لتسمية مجموعة متنوّعة من النجوم المنخفضة الكتلة، ووفق المشاهدات، من المرجح أن تمثل غالبية النجوم في الكون. إن درجات الحرارة المنخفضة نسبيًّا والحرق المنهجي البطيء للهيدروجين داخل النجم القزم الأحمر (التيارات المتلاطمة داخلها تضمن احتراق كل مخزون النجم من الهيدروجين تقريبًا في القلب) تمكّنها من التوهج لعدة تريليونات من الأعوام، أي لفترة أطول من عُمر الشمس بآلاف المرات. ولكن بحلول الطابق الرابع عشر، حتى النجم القزم الأحمر المزدهر على نحو متأخر سوف يستنفد وقوده النووي.

وهكذا، بينما نصعد من الطابق الرابع عشر، ستشبه المجرات المدن المحترقة لمستقبل ديستوبي. وستصير سماء الليل التي كانت نابضة بالحياة ومليئة بالنجوم الساطعة عامرة بالجمرات المتفحمة. ومع ذلك، نظرًا إلى أن جاذبية النجم تعتمد فقط على كتلته، وليس على ما إذا كان ساطعًا أو خامدًا داكنًا، فإن النجوم التي تدور حولها كواكب ستستمر في الغالب في القيام بذلك.

لطابق آخر.

أفول النظام الفلكي

إن النظر إلى سماء الليل الصافية يعطي انطباعًا بأن المجرة عامرة بالنجوم. لكنها ليست كذلك. وعلى الرغم من أنه يبدو أن النجوم مرصوصة جنبًا إلى جنب على كرة تحيط بنا، فنظرًا إلى أن المسافات التي تفصل بينها وبين الأرض تتباين تباينًا شاسعًا

-وهي سمة تعجز أعيننا الواهنة المتقاربة عن رصدها- فإن النجوم، في الواقع، بعيدة كل البعد بعضها عن بعض. وإذا قَلَّصتَ الشمس إلى حجم حبة سكر ووضعها أعلى مبنى الإمباير ستايت، فسيتعيّن عليك القيادة حتى غرينويتش في ولاية كونيتيكت لتصادف النجم بروكسيما ستوري، أقرب جيراننا من النجوم. ولن تحتاج إلى القيادة بسرعة كي تضمن أن بروكسيما ستوري سيظل موجودًا في غرينويتش بحلول الوقت الذي تصل فيه إلى هناك. فعلى هذا المقياس، تتغير السرعات النجمية النموذجية بمعدل يقل عن ملليمتر واحد في الساعة. ومثل لعبة مطاردة تلعبها مجموعة من البزَّاقات المتناثرة على مساحة واسعة، نادرًا ما تتصادم النجوم أو يقترب بعضها من بعض.

غير أن هذا الاستنتاج مبني على الفترات الزمنية المألوفة -الأعوام والقرون والألفيات- ولذا يجب إعادة النظر فيه في ضوء المقاييس الزمنية الأطول بكثير التي نتدبّرها الآن. بحلول الطابق الخامس عشر، يكون قد مضى مليون مليار عام منذ الانفجار. وخلال تلك الفترة، هناك في الواقع احتمال كبير أن تكون النجوم البعيدة والبطيئة الحركة قد شهدت بعض اللقاءات القريبة. ماذا سيحدث في مثل هذه اللقاءات؟

دعونا نركّز على الأرض ونتخيّل أن نجمًا آخر اقترب من كوكبنا. اعتمادًا على كتلة ومسار النجم الدخيل، قد تؤدّي قوة الجاذبية الخاصّة به إلى اضطراب بسيط في حركة الأرض. وإذا كان النجم الدخيل خفيف الكتلة وظل على مسافة من الأرض فلن يسبب دمارًا. غير أن قوة الجاذبية الخاصّة بنجم أضخم يمر على مقربة من الأرض من الممكن أن تسبب خروج كوكبنا بسهولة عن مداره، ودفعه عبر المجموعة الشمسية نحو الفضاء السحيق. وما ينطبق على الأرض ينطبق كذلك على غالبية الكواكب الأخرى التي تدور حول غالبية النجوم الأخرى في غالبية المجرات الأخرى. وبينما نرتقي الخط الزمني، سيُدفَع المزيد والمزيد من الكواكب إلى الفضاء بسبب قوة الجاذبية المدمرة للنجوم الشاردة. وفي الواقع، ربما تعاني الأرض من هذا المصير قبل أن تفنى الشمس، وإن كان ذلك مستبعدًا بدرجة كبيرة.

إذا حدث هذا، فإن المسافة المتزايدة بين الأرض والشمس ستؤدّي إلى انخفاض درجة حرارة الأرض باستمرار. ستتجمّد الطبقات العليا من محيطات العالم، كما سيتجمد كل شيء آخر على السطح. وستُسال غازات الغلاف الجوي، النيتروجين والأكسجين في الغالب، وتتقطر من السماء. هل تستطيع الحياة البقاء؟ سيكون من الصعب حدوث هذا على سطح الأرض. ولكن كما رأينا فإن الحياة تزدهر في الفوهات الحرارية المظلمة المنتشرة في قاع المحيط، بل وربما تكون قد نشأت فيها بالفعل. لا يمكن لأشعة الشمس الوصول إلى هذه الأعماق، وبذا فإن هذه الفتحات لن تتأثّر

بغياب الشمس. بدلًا من ذلك، يأتي جزء كبير من الطاقة التي تغذّي الفتحات من التفاعلات النووية المنتشرة ولكن المستمرة[17]. يحتوي باطن الأرض على مخزون من العناصر المشعة (الثوريوم واليورانيوم والبوتاسيوم في الغالب)، وبما أن هذه الذرّات غير المستقرة تتحلّل فإنها تطلق دَفقًا من الجُسَيْمات النشطة التي تسخّن البيئة المحيطة. لذا سواء تمتّعت الأرض بالدفء الناتج عن الاندماج النووي في الشمس أم لا، فسوف تواصل التمتّع بالدفء الناتج عن الانشطار النووي في باطنها. وإذا طُردَت الأرض من المجموعة الشمسية، فمن الممكن أن تستمر الحياة في قاع المحيطات لمليارات الأعوام كما لو أن شيئًا لم يحدث[18].

لن تؤدّي هذه التصادمات النجمية إلى الإخلال بالمجموعات الشمسية وحسب، بل ستؤدي على فترات أطول أيضًا إلى الإخلال بالمجرات. في الحالات التي توشك فيها النجوم على التصادم أو في حالات التصادمات المباشرة النادرة، تقل سرعة النجم الأثقل بينما تزداد سرعة النجم الأخف. (ضع كرة تنس طاولة على كرة سلة، وعند إسقاط الكرتين معًا على الأرض وارتدادهما، ستلاحظ أن التصادم يزيد بصورة عظيمة من سرعة كرة تنس الطاولة)[19]. في أي مواجهة فردية، عادة ما تكون هذه التبادلات هيّنة، ولكن على فترات طويلة من الممكن أن يؤدّي تأثيرها التراكمي إلى تغييرات كبيرة في السرعات النجمية. ستكون النتيجة اندفاع مجموعة ثابتة من النجوم بسرعات عالية جدًّا بحيث تفلت من المجرات المضيفة لها. وتكشف الحسابات التفصيلية أنه مع مرورنا بالطابق التاسع عشر واتجاهنا نحو الطابق العشرين، فإن المجرات النموذجية ستُستنفَد نتيجة هذه العملية؛ إذ ستُلفَظ نجومها، وجُلّها الآن بقايا محترقة، وتُترَك لتنجرف من دون هدف عبر الفضاء[20].

سيتلاشى النظام الفلكي الواسع الذي يتجسّد في المجموعات الشمسية والمجرّات، وستصير هذه البنى، المنتشرة الآن، أنماطًا هجرها الكون.

موجات الجاذبية والانجراف الأخير

إذا كانت الأرض محظوظة بحيث تتجنّب الشمس المتنفخة في الطابق الحادي عشر، وإذا أفلتت من الطرد نتيجة زيارة تخريبية من النجوم المجاورة، فإن مصيرها النهائي سيتحدد من خلال سمة جميلة تمامًا للنظرية النسبية العامة؛ موجات *الجاذبية*.

عند شرح فكرة النسبية العامة المركزية ولكن المجردة عن الزمكان المنحني، غالبًا ما يستعين الفيزيائيون باستعارة مألوفة: فنحن نتخيل الكواكب التي تدور حول نجم

ما كما لو كانت بِليات(1) صغيرة تتدحرج على غشاء مطاطي منحنٍ بسبب كرة بولينغ موضوعة في المركز. غير أن الاستعارة تثير تساؤلات. لماذا لا تهوي الكواكب نحو النجم وتسقط داخله؟ فعلى أي حال، يحل مصير مماثل بالبِليات بالتأكيد[21]. الإجابة هي أن البِليات المتدحرجة تدور بشكل حلزوني إلى الداخل لأنها تفقد الطاقة بسبب الاحتكاك. في الواقع، حتى من دون أي معدّات متقدمة، يمكنك اكتشاف دليل على ذلك: إذ يصل بعض الطاقة المفقودة إلى أذنيك، مما يسمح لك بسماع البِليات وهي تتدحرج على الغشاء المطاطي. وتحافظ الكواكب على مداراتها لأنه لا يوجد احتكاك في الفضاء الخاوي.

يفقد أي كوكب كمية صغيرة من الطاقة في مداره، لكن ليس الاحتكاك هو السبب. فعندما تتحرّك الأجرام الفلكية، فإنها تسبب اختلال نسيج الفضاء. وتولّد تموجات تنتشر إلى الخارج تشبه تلك التي تنتشر على الغشاء المطاطي إذا ضغطت عليه باستمرار. وهذه التموجات في نسيج الفضاء هي موجات الجاذبية التي تنبأ بها أينشتاين في أوراقه التي نشرها في العامين 1916 و1918. وفي العقود التي تلت ذلك، راودت أينشتاين مشاعر مختلطة حول موجات الجاذبية، حيث نظر إليها، في أحسن الأحوال، على أنها محض احتمال نظري لن يُرصَد أبدًا، وفي أسوأ الأحوال كتفسير خاطئ صريح للمعادلات. إن الحسابات الرياضية للنسبية العامة معقّدة للغاية إلى درجة أن أينشتاين شعر بالحيرة أحيانًا. وقد استغرق الأمر سنوات عديدة لتطوير أساليب منهجية للتغلب على القضايا الشائكة التي من شأنها أن تربك محاولات ربط التعبيرات الرياضية للنسبية العامة بسمات العالم القابلة للقياس. وبحلول ستينيات القرن العشرين، وبوجود هذه الأساليب، اكتسب الفيزيائيون الثقة في أن موجات الجاذبية كانت نتيجة حتمية للنظرية. ومع ذلك، لم يمتلك أي منهم دليلًا تجريبيًا أو رصديًا على أن موجات الجاذبية حقيقية.

تغير ذلك بعد نحو عقد ونصف العقد. ففي العام 1974، اكتشف راسل هولس وجو تايلور أول نظام نجمي نيوتروني ثنائي معروف؛ وهو زوج من نجمَيْن نيوترونيَّيْن حبيسي مدار سريع[22]. وأثبتت المشاهدات اللاحقة أنه بمرور الزمن كان النجمان النيوترونيان يقتربان أحدهما من الآخر، وهذا يدل على أن النظام الثنائي كان يفقد الطاقة. لكن أين تذهب هذه الطاقة؟[23]. أعلن تايلور وزميلاه لي فاولر وبيتر ماكولوتش أن الخسارة المُقاسة في الطاقة المدارية تتفق بشدة مع تنبوءات النسبية العامة للطاقة التي من المفترض أن تضخها النجوم النيوترونية التي تدور في مدارها في موجات

(1) بلية، أو كلّة، وهي كرة زجاجية صغيرة يلعب بها الأطفال.

الجاذبية[24]. وعلى الرغم من أن موجات الجاذبية الناتجة كانت ضعيفة للغاية بحيث يتعذر اكتشافها، إلّا أن هذا العمل البحثي أثبت، وإن كان بشكل غير مباشر، أن موجات الجاذبية حقيقية.

بعد مضي ثلاثة عقود وإنفاق مليار دولار، مضى مرصد موجات الجاذبية بالتداخل الليزري (ليغو) إلى أبعد من ذلك؛ إذ أجرى أول رصد مباشر لتموجات نسيج الفضاء. وفي وقت مبكر من صباح يوم 14 سبتمبر 2015، اهتزت مؤشرات كاشفين ضخمين، أحدهما في لويزيانا والآخر في ولاية واشنطن، وكلاهما محمي جيدًا من أي اضطراب محتمل باستثناء موجات الجاذبية. وحدث هذا بنفس المقدار والكيفية بالضبط. لقد استعد الباحثون لهذه اللحظة لما يقرب من نصف قرن، لكنهم انتهوا من معايرة الكاشفَيْن اللذين تمت ترقيتهما حديثًا قبل يومين تقريبًا. كان الاكتشاف شبه الفوري للإشارة مفاجئًا ومثيرًا للقلق. هل كانت الإشارة حقيقية؟ هل كان هذا اكتشاف العمر أم خدعة متقنة، أو الأسوأ من ذلك، هل اخترق شخص ما النظام وحقن إشارة وهمية؟

بعد شهور من التحليل الدقيق، والتحقق وإعادة التحقق من تفاصيل اضطراب الجاذبية المزعوم، أعلن الباحثون أن موجة جاذبية قد مرت بالفعل بالأرض. علاوة على ذلك، من خلال تحليل الاهتزاز بدقّة ومقارنته بنتائج عمليات المحاكاة التي قامت بها حواسيب عملاقة لموجات الجاذبية التي يُفترَض أن تنتجها حوادث فلكية مختلفة، تمكن الباحثون من عَكس هندسة الإشارة لتحديد المصدر، وخلصوا إلى أنه منذ 1,3 مليار عام، في الوقت الذي كانت الحياة المتعددة الخلايا قد بدأت تتشكل للتو على كوكب الأرض، كان هناك ثقبان أسودان بعيدان يدوران أحدهما حول الآخر عن كثب وبسرعة متزايدة، تقترب من سرعة الضوء، إلى أن تصادما معًا في عنف. أنتج التصادم موجة مد في الفضاء، تسونامي جذبوي هائل تجاوزت قوته القوة التي ينتجها كل نجم في كل مجرة داخل الكون القابل للرصد. اندفعت الموجة إلى الخارج بسرعة الضوء، في جميع الاتجاهات، واتجه جزء منها نحو الأرض، وقد تضاءلت قوتها مع انتشارها على نطاق أوسع. ومنذ نحو مائة ألف عام، عندما كان البشر يهاجرون من السافانا الأفريقية، انسابت الموجة عبر هالة المادة المظلمة المحيطة بمجرة درب التبانة خلال اندفاعها بلا هوادة. وقبل نحو مائة عام، تجاوزت الموجة عنقود القلائص النجمي، وخلال ذلك الوقت بدأ أحد أفراد نوعنا، ويُدعى ألبرت أينشتاين، في التفكير في موجات الجاذبية وخَطَّ الأوراق الأولى حول هذا الاحتمال. وبعد نحو خمسين عامًا، مع اقتراب الموجة، اقترح باحثون آخرون في جرأة إمكانية رصد مثل هذه الموجات وبدأوا في تصميم وتخطيط جهاز يمكنه القيام بذلك. وعندما كانت الموجة على بُعد

يومين ضوئيين فقط من الأرض، كانت النسخة المطورة حديثًا لكاشفَيْن من أكثر هذه الكواشف تقدمًا جاهزة للعمل. وبعد يومين اهتز هذان الكاشفان لمائتي ميللي ثانية، وجمعا البيانات التي مكّنت العلماء من إعادة بناء القصة التي سردتها للتو. وبسبب هذا الإنجاز، مُنح قادة الفريق راينر فايس وباري باريش وكيب ثورن جائزة نوبل للعام 2017.

هذه الاكتشافات مثيرة للغاية في حد ذاتها، كما أنها ذات صلة بموضوعنا هنا لأن الأرض في الطابق الثالث والعشرين (مرة أخرى، بافتراض أن الأرض لا تزال تدور في مدارها)، بعد أن فقدت طاقتها عبر نسخة من نفس العملية -الإنتاج البطيء المتواصل لموجات الجاذبية- ستهوي في مدار حلزوني نحو الشمس الميتة منذ زمن طويل. لا تختلف القصة بالنسبة إلى الكواكب الأخرى، على الرغم من اختلاف المقاييس الزمنية. إن الكواكب الأصغر تسبّب اضطرابًا طفيفًا في نسيج الفضاء، ولهذا تكون مداراتها الحلزونية القاتلة أطول، وينطبق الأمر كذلك على الكواكب التي تكون مداراتها بعيدة عن النجم المضيف. إذا أخذنا الأرض كمثال للكواكب التي قد تستمر في المدار بعناد، فإننا نستنتج أنه بحلول الطابق الثالث والعشرين، ستندفع مثل هذه الكواكب، التي استسلمت لمصيرها، نحو الشمس الباردة وتصطدم بها في عنف.

ستتبع المجرات، خلال مراحلها النهائية، تسلسلًا مشابهًا. يوجد ثقب أسود ضخم في مركز معظم المجرات، تزيد كتلته عن كتلة الشمس ملايين أو حتى مليارات المرات. وفي طريقنا للصعود من الطابق الثالث والعشرين، فإن النجوم الوحيدة المتبقية في المجرات ستكون عبارة عن جمرات محترقة، وستدور في بطء، بعد أن تحاشت الطرد من المجرة، حول الثقب الأسود المركزي. ومثلما تسلك الكواكب مدارًا حلزونيًا في بطء نحو الداخل بينما يجري توجيه طاقتها المدارية إلى موجات جاذبية، يحدث الأمر عينه بالنسبة إلى النجوم التي تدور حول ثقب أسود مجرّي. ومن خلال تقدير معدل نقل الطاقة هذا، خلص الباحثون إلى أنه بحلول الطابق الرابع والعشرين، ستكون معظم البقايا النجمية قد استهلكت، وسقطت في الهاوية المركزية المظلمة لمجراتها[25]. وإذا احتوت المجرات على نجوم شاردة محترقة تتسم بكونها صغيرة الحجم وبعيدة، سيقدم الثقب الأسود المركزي مساعدة إضافية؛ إذ سيجتذب النجوم بلا هوادة، ويدفعها إلى الانجراف أكثر وأكثر إلى مثواها النهائي. وبوضع كلا التأثيرين في الاعتبار، سوف تُخلي الثقوب السوداء المركزية معظم المجرات تمامًا من النجوم بحلول الطابق الثلاثين، أي بعد (10^{30}) عام من الانفجار العظيم، إن لم يكن قبل ذلك.

بحلول تلكَ الحقبة، لن تكون الرحلة عبر الكون محفوفة بالخطر. وسيكون الفضاء

مظلمًا ومقفرًا، تتخلله في هذا الموضع وذاك قلة من الكواكب الباردة والنجوم المحترقة والثقوب السوداء العملاقة.

مصير المادة المعقدة

هل يمكن للحياة أن تستمر في خضم هذه التحولات البيئية المتطرفة التي تعرضنا لها؟ إنه سؤال صعب، وسبب صعوبته بالأساس، كما أكدنا في بداية هذا الفصل، أنه ليس لدينا أي فكرة عن شكل الحياة في المستقبل البعيد. وتتمثّل إحدى الخصائص شبه المؤكدة في أن الحياة من أي نوع ستحتاج إلى تسخير الطاقة المناسبة لتشغيل الوظائف التي تحافظ على الحياة، كالتمثيل الغذائي والتكاثر وما إلى ذلك. وعندما تحترق النجوم، أو تُقذف إلى الفضاء السحيق، أو تندفع نحو ثقوب سوداء نهمة، فإن هذه المهمة ستزداد صعوبة. هناك أفكار إبداعية، مثل تسخير جزيئات المادة المظلمة التي نعتقد بأنها تهيم عبر الفضاء، والتي يمكن أن تنتج الطاقة عندما يصطدم كل زوج منها ويتحول إلى فوتونات[26]. ولكن ها هي المشكلة: حتى إذا استطاع شكلٌ ما من أشكال الحياة الاستفادة من مصدر جديد من الطاقة المفيدة، فمع استمرارنا في الصعود من المرجح أن يواجهنا تحدٍ آخر، تحدٍ أشد جسامة من كل التحديات الأخرى.

وهو أن المادة نفسها قد تتفكّك.

توجد البروتونات في قلب كل الذرات، وتشكل كل الجزيئات، وتتجمع على صورة كل البنى المادية المعقدة من الحياة إلى النجوم. إذا كان للبروتونات ميل إلى التفكك إلى رذاذ من الجُسَيْمات الأخف (مثل الإلكترونات والفوتونات)، فمن شأن المادة أن تتفكك ويتغير الكون تغيرًا جذريًّا[27]. إن وجودنا يشهد على استقرار البروتونات، على الأقل عبر نطاقات زمنية تعادل الفترة المنقضية منذ الانفجار العظيم. ولكن ماذا عن النطاقات الزمنية الأطول التي نتدبّرها الآن؟ على مدار نصف قرن تقريبًا، واجه الفيزيائيون تلميحات رياضية مثيرة للاهتمام مفادها أن البروتونات يمكن أن تتحلّل على مدى هذه الفترات الزمنية الهائلة.

في سبعينيات القرن الماضي، طور الفيزيائيان هوارد جورجي وشيلدون غلاشو أول نظرية موّحدة عُظمى، وهي إطار رياضي يربط، على الورق، القوى الثلاث بخلاف قوة الجاذبية[28]. وعلى الرغم من أن القوة النووية الشديدة، والقوة النووية الضعيفة، والقوة الكهرومغناطيسية لها خصائص شديدة التباين عند دراستها في التجارب المعملية، ففي مخطط جورجي وغلاشو تتضاءل هذه الفروق على نحو مطرد مع دراسة القوى الثلاث على مسافات أصغر وأصغر. وهكذا تقترح النظرية الموحّدة العُظمى أن هذه القوى

الثلاث في الواقع جوانب مختلفة لقوة رئيسية واحدة، وهذه الوحدة في عمل الطبيعة لا تكشف عن نفسها إلّا على أصغر المقاييس.

أدركَ جورجي وغلاشو أنه من خلال الروابط التي تقترح النظرية الموحدة العُظمى وجودها بين القوى تنشأ روابط جديدة بين جُسَيْمات المادة. وتسمح هذه الروابط بمجموعة جديدة من التحولات بين الجُسَيْمات، بما في ذلك بعض التحولات التي من شأنها أن تؤدّي إلى اضمحلال البروتونات. لحسن الحظ، هذه العملية بطيئة. وقد أظهرت الحسابات أنك لو حملت مجموعة من البروتونات في راحة يدك وانتظرت حتى يتحلّل نصفها، فسيتعين عليك حملها لنحو ألف مليار مليار عام، وهي مدة كافية للصعود إلى الطابق الثلاثين من مبنى الإمباير ستايت. إنه تنبؤ مثير للفضول، وربما يبدو غير قابل للتحقق. ومن ذا الذي سيتحلّى بالصبر لاختباره؟

تأتي الإجابة من عملية بسيطة ولكن بارعة. فمثلما تكون احتمالات وجود فائز في يانصيب هذا الأسبوع أقرب إلى الصفر إذا بيع عدد قليل فقط من التذاكر ولكنها سترتفع ارتفاعًا كبيرًا إذا بيع عدد كبير من التذاكر، فإن احتمالات مشاهدة اضمحلال البروتون في عَيّنة صغيرة هي أقرب من الصفر ولكنها سترتفع ارتفاعًا كبيرًا إذا تضاعف حجم العينة بشدة[29]. لذا، املأ وعاءً ضخمًا بملايين الجالونات من المياه النقية (كل جالون يوفر نحو (10^{26}) بروتونٍ)، وقم بإحاطة العينة بكواشف حساسة للغاية، وحدق بتركيز، ليل نهار، بحثًا عن العلامات الدالة على وجود نواتج اضمحلال البروتون (وفقًا لمُقترح جورجي وغلاشو، هذه النواتج هي جُسَيْم يُعرف باسم *البيون*، بالترافق مع مضاد للإلكترون).

إن مهمة البحث عن الفتات الجُسَيْمي لبروتون واحد متحلل في بحر من البروتونات الوفيرة التي يتجاوز عددها عدد حبيبات الرمل التي تشكل كل شواطئ وصحاري الكوكب تبدو مطاردة عبثية. لكن في الواقع، أثبتت عدة فرق بارعة من الفيزيائيين التجريبيين بشكل قاطع أنه إذا تفكك بروتون في الوعاء، فستُطلق كواشفهم أجراس التنبيه.

كنتُ أحد طلاب جورجي في منتصف الثمانينيات، عندما كانت نظريته الموحّدة قيد الاختبار. كنت طالبًا جامعيًّا، أدرس المواد الأساسية، لذا لم أفهم تمامًا ما كان يجري. لكن كان بإمكاني الشعور بالترقب. كانت وحدة الطبيعة، الحلم الذي دفع أينشتاين، على وشك أن تنكشف. ثم مر عام من دون دليل على تحلل بروتون واحد. ثم عام آخر. وآخر. وأتاح الفشل في رصد أي بروتونات تتحلل للباحثين وضع حد أدنى لعمر البروتون، والذي يبلغ حاليًّا نحو (10^{34}) عامٍ.

إن مُقترَح جورجي وجلاشو رائع. ومن خلال تحييد ألغاز الجاذبية الكَمّية مؤقتًا، تضم نظريتهم قوى الطبيعة الثلاث المتبقية علاوة على جميع جُسَيْمات المادة من خلال عملية دمج أنيقة ودقيقة وبارعة بين الرياضيات والفيزياء. إنها تحفة فكرية. ومع ذلك، لم تكترث الطبيعة بمقترحهم. وبعد ذلك بوقت طويل، تحدّثتُ مع جورجي عن التجربة. ووصف التجارب المخيبة للآمال بأنها «صفعة توجّهها يد الطبيعة»، وأضاف أن هذه التجربة جعلته ينقلب ضد برنامج التوحيد برمته.

غير أن برنامج التوحيد استمر. ولا يزال مستمرًّا. وثمة سمة مشتركة لكل نهج تم اتباعه تقريبًا -نظريات كالوزا-كلاين، التناظر الفائق، الجاذبية الفائقة، الأوتار الفائقة، علاوة على الامتدادات الأكثر وضوحًا لنظرية جورجي وجلاشو الموحدة العظمى (والتي يمكنك أن تقرأ عنها جميعًا في كتاب «الكون الأنيق»)- وهي التنبؤ بتحلل البروتونات. إن المُقترحات التي يكون فيها معدل هذا التحلّل قريبًا من معدل جورجي وجلاشو الأصلي يجري استبعادها على الفور. لكن العديد من النظريات الموحّدة المقترحة تتنبأ بمعدلات أبطأ لتحلل البروتونات تتفق مع أدق الحدود التجريبية. وتتراوح الأرقام النموذجية بين (10^{34}) عام و(10^{37}) عام، وثمة توقعات أطول من هذه.

المغزى من هذا هو أننا خلال مواصلة تطوير فهمنا الرياضي للكون، نجد أن تحلل البروتون يطل برأسه عند كل منعطف تقريبًا. ليس من المستحيل التلاعب بمعادلاتنا لتجنب تحلل البروتون، ولكن تحقيق ذلك يتطلب غالبًا تلاعبات رياضية ملتوية تتعارض مع التفسيرات النظرية التي أثبتت نجاحات الماضي أنها ذات صلة بالواقع. ولهذا السبب، يتوقع العديد من المنظرين أن البروتونات تتحلل في الواقع. قد يكون هذا خطأً، وفي التعليقات الختامية أتناول في إيجاز البديل[31]. ولكن هنا، وتحريًا للدقة، سأعتبر أن عمر البروتون نحو (10^{38}) عام.

النتيجة المترتبة على ذلك هي أنه بينّما نشقُّ طريقنا صعودًا صوب الطابق الثامن والثلاثين، فإن كل ذرة اندمجت مع ذرة أخرى كي تشكّل جزيئاً، وكل جزيء اجتمع مع آخر كي يشكل كل بنية من بنى الكون -الصخور والماء والأرانب والأشجار وأنت وأنا والكواكب والأقمار والنجوم وكل شيء آخر- سوف تتفكك. سيتفكك كل شيء. ولن يحوي الكون إلّا مكونات جُسَيْمية معزولة، تتكوّن في معظمها من الإلكترونات والبوزيترونات والنيوترينوات والفوتونات، تتدفق عبر كون تتخلله في هذا الموضع وذاك ثقوب سوداء هادئة ولكن ضارية.

في الطوابق السفلية، يتمثل التحدي المهيمن أمام الحياة في تسخير طاقة مناسبة عالية الجودة ومنخفضة الإنتروبيا لتشغيل عمليات المادة الحية. لكن بدايةً من الطابق

الثامن والثلاثين سيكون التحدي أكثر جوهرية. فمع تحلل الذرات والجزيئات، ستنهار أسس الحياة وجُل البنى في الكون ذاتها. لذا، إذا استطاعت الحياة الوصول إلى هذا الحد، فهل ستصطدم الآن بالجدار الأخير؟ ربما. ولكن، ربما أيضًا، على المقاييس الزمنية التي نتدبرها -أكبر من عمر الكون الحالي بمليار مليار مليار مرة- ستكون الحياة قد تطورت إلى شكل تخلى منذ فترة طويلة عن أي حاجة إلى البنية البيولوجية التي تتطلّبها حاليًا. وربما تصير تصنيفات مثل الحياة والعقل فجّة وغير مواتية نتيجة وجود تجسيدات مستقبلية تتطلّب توصيفات جديدة تمامًا.

تستند هذه التكهنات إلى افتراض أن الحياة والعقل لا يعتمدان على أي ركيزة مادية معينة، مثل الخلايا والأجسام والأدمغة، ولكنهما بدلًا من ذلك عبارة عن مجموعات من العمليات المتكاملة. احتكر علم الأحياء حتى الآن أنشطة الحياة، غير أن هذا ربما يعكس فقط تقلبات التطور عن طريق الانتخاب الطبيعي على كوكب الأرض. وإذا كان هناك ترتيب آخر للجُسَيْمات الأساسية قادر على أن ينفّذ بأمانة عمليات الحياة والعقل، حينئذٍ سيعيش هذا النظام ويفكر.

يتمثل نهجنا هنا في تبني المنظور الأوسع، والنظر في إمكانية وجود نوع من العقل المفكر حتى في غياب الذرات والجزيئات المعقدة. ولذا نسأل: في ضوء القيد الوحيد لدينا، غير المرن تمامًا، المتمثل في ضرورة توافق عملية التفكير تمامًا مع قوانين الفيزياء، هل يمكن أن يستمر التفكير إلى أجل غير مسمى؟

مستقبل التفكير

قد يبدو تقييم مستقبل التفكير ضربًا من الغطرسة. فكل شخص منا يعلم، من واقع الخبرة الشخصية، ما هو شعور التفكير، ولكن كما اتضح لنا في الفصل الخامس فإن الدراسة العلمية الصارمة للعقل لا تزال في مهدها. بالنسبة إلى علم الحركة، تقدّمنا من قوانين نيوتن إلى قوانين شرودنجر المختلفة جذريًا خلال أقل من ثلاثة قرون، فكيف لنا أن نأمل في قول أي شيء ذي صلة بمستقبل التفكير عبر فترات زمنية تُلحَظ فيها المليار قرن بالكاد؟

يثير السؤال أحد مواضيعنا المحورية. فمن الممكن، بل والضروري، فهم الكون عبر طيف واسع من المنظورات المتمايزة. ويجب في النهاية جمع التفسيرات الناتجة، وكل منها ذو صلة بأنواع معينة من الأسئلة، داخل سرد متسق، ولكن يمكنك إحراز تقدم في بعض هذه القصص حتى في ضوء امتلاك معرفة محدودة بالعديد من القصص الأخرى. لم يكن لدى نيوتن أدنى فكرة عن فيزياء الكَمّ، لكنه نجح في بناء فهمٍ لنوع

الحركة التي نقابلها على المقاييس اليومية. وعندما ظهرت فيزياء الكمّ، لم يُهدَم صرح نيوتن، بل جرى تجديده. وقدمت ميكانيكا الكم أساسًا جديدًا عَمَّقَ نطاق العلم ومنح البنية النيوتنية تفسيرًا جديدًا.

من الممكن أن تكون التأملات الرياضية الحالية حول مستقبل العقل غير ذات أهمية. فعلى أي حال، ما لم تكن ضليعًا بشكل خاص في تاريخ الفيزياء والفلسفة، فإنك على الأرجح لم تسمع قط عن وصف أرسطو الحيوي للحركة أو نظرية إيمبيدوكليس للرؤية القائمة على وجود النار في العين. ففي أثناء قيامنا نحن البشر بعملية الاستكشاف، من المؤكد أننا نخطئ تمامًا بشأن بعض الأشياء؛ حسنًا بشأن كثير من الأشياء. ولكن كما هو الحال مع الفيزياء النيوتونية، من المحتمل أيضًا أن تُعَد مثل هذه التأملات في العقل يومًا ما جزءًا من سجل تاريخي أشمل. وبهذا الشعور بالتفاؤل، العقلاني والمخفف، سنتدبر المستقبل البعيد للفكر.

في العام 1979، كتب فريمان دايسون ورقةً استشرف فيها المستقبل البعيد للحياة والعقل[32]. سوف نحذو حذوه، ونقوم بتضمين التحديثات المستندة إلى التطورات النظرية والمشاهدات الفلكية الأحدث. ويتبنى دايسون، مثل نهجنا خلال هذه الصفحات، نظرةً ماديةً للعقل، معتبرًا أن فعل التفكير عملية فيزيائية تخضع بالكامل للقانون الفيزيائي. وبما أن لدينا صورة جيدة إلى حد معقول عن كيفية تطور السمات العامة للكون على الطريق نحو المستقبل البعيد، يمكننا التحقق مما إذا كانت البيئات الملائمة للفكر ستستمر في الوجود أم لا.

لنبدأ بالتفكير في دماغك. إحدى خصائص الدماغ البشري هي الحرارة؛ إذ يستهلك دماغك باستمرار الطاقة التي توفرها له عن طريق الأكل والشرب والتنفس، كما يقوم بمجموعة من العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تعدل تكوينه التفصيلي (التفاعلات الكيميائية، إعادة ترتيب الجزيئات، حركة الجُسَيْمات، وما إلى ذلك)، كما أنه يطلق الحرارة في البيئة. وبينما يفكّر دماغك (ويفعل كل ما تفعله الأدمغة)، فإنه يعيد تنفيذ التسلسل الذي تعرّضنا له للمرة الأولى في الفصل الثاني عند تحليل المحركات البخارية. وكما هي الحال في هذا النموذج، فإن الحرارة المُهدَرة التي يطلقها دماغك إلى البيئة تنقل الإنتروبيا التي يمتصها ويولّدها كذلك عن طريق أعماله الداخلية.

إذا عجز المحرك البخاري، لأي سبب من الأسباب، عن التخلص من الإنتروبيا المتراكمة داخله، فعاجلًا أم آجلًا سيفشل. وسيحل مصيرٌ مشابه بأي دماغ يعجز، لأي سبب كان، عن التخلص من النفايات الحتمية التي ينتجها عمله باستمرار. والدماغ الذي يفشل هو دماغ لم يعد يفكر. وهنا يكمن التحدي المحتمل أمام استمرارية التفكير

القائم على الدماغ. فمع تقدم الكون أكثر في المستقبل، هل ستحافظ الأدمغة على القدرة على التخلص من الحرارة المهدرة التي تنتجها؟

لا أحد يتوقع أن تكون الأدمغة البشرية حاضرة على الدوام خلال رحلة صعودنا من اليوم إلى الطوابق الأعلى. وبالتأكيد، بحلول الوقت الذي نصعد فيه إلى مستوًى عالٍ بما يكفي بحيث تبدأ الذرات في التفكك إلى جُسَيْمات أكثر جوهرية، ستصير التكتلات الجزيئية المعقدة من أي نوع أندر على نحو مطرد. غير أن المطلب التشخيصي المتمثل في القدرة على طرد الحرارة المهدرة أمر أساسي للغاية بحيث ينطبق على أي تكوين من أي نوع يضطلع بعملية التفكير. لذا فإن السؤال الأساسي هو ما إذا كان بمقدور أي كيان من هذا القبيل -ولنطلق عليه اسم الكائن المفكر- بصرف النظر عن كيفية تصميمه أو بنائه، أن يطرد الحرارة التي يولدها تفكيره بالضرورة. وإذا فشل الكائن المفكر في القيام بذلك، فسوف يسخن ويحترق في مخلفات الإنتروبيا الحتمية. وإذا أملَت القيود التي يفرضها القانون الفيزيائي في عالم آخذ في التمدد على كل مفكر في كل مكان، عاجلًا أم آجلًا، أن يفشل في هذه المهمة التي لا غنى عنها للتخلص من الإنتروبيا، فإن مستقبل التفكير نفسه سيكون في خطر.

وهكذا، سنحتاج إلى فهم فيزياء التفكير من أجل تقييم مستقبله. ما مقدار الطاقة التي تتطلبها عملية التفكير من الكائن المفكّر، وما مقدار الإنتروبيا التي تولّدها هذه العملية؟ وبأي معدل يحتاج الكائن المفكّر إلى طرد الحرارة المهدرة، وبأي معدل يمكن أن يمتصها الكون؟

التفكير البطيء

في موضع سابق، في الفصل الثاني تحديدًا، شددتُ على أن الانتروبيا تُحصي عدد مرات إعادة ترتيب المكوّنات المتناهية الصغر للنظام الفيزيائي -جزيئاته- التي «تبدو متماثلة بدرجة كبيرة». وعند تحليل الكائن المفكّر، توجد طريقة مفيدة بشكل خاص لإعادة صياغة ذلك، وهي أنه إذا كان النظام يتسم بدرجة منخفضة من الإنتروبيا، فإن ترتيب جُسَيْماته هو واحد من بين احتمالات قليلة نسبيًا تبدو جميعها متشابهة؛ أي إحدى النسخ المتطابقة القليلة نسبيًا. ومن ثَم، إذا أخبرتكم أي ترتيب من بين هذه الاحتمالات سيكون عليه النظام بالفعل، فلن أقدم لكم إلّا قدرًا ضئيلًا من المعلومات. ومثل تحديد علبة معينة من حساء الطماطم على رف شبه فارغ في متجر بقالة، فسأكون قد ميزت هذا الترتيب المعيّن للجُسَيْمات عن عدد قليل وحسب من الاحتمالات. وإذا اتسم النظام بدرجة مرتفعة من الإنتروبيا، فإن ترتيب جُسَيْماته هو واحد من بين احتمالات عديدة تبدو جميعها

متشابهة؛ أي واحد من نسخ عديدة متطابقة. ومن ثَم، إذا أخبرتكم أي ترتيب من بين هذه الاحتمالات سيكون عليه النظام بالفعل، فسأقدّم لكم معلومات وفيرة. ومثل تحديد علبة من حساء الطماطم على رف ممتلئ في متجر بقالة، سأكون قد ميزت هذا الترتيب المعين للجُسَيْمات عن عدد هائل من الاحتمالات. لذلك بالنسبة إلى النظام ذي الإنتروبيا المنخفضة، يحتوي ترتيب الجُسَيْمات على محتوى معلوماتي منخفض، وبالنسبة إلى النظام ذي الإنتروبيا المرتفعة، يحتوي ترتيب الجُسَيْمات على محتوى معلوماتي مرتفع.

الارتباط بين الإنتروبيا والمعلومات مهم لأنه بصرف النظر عن الموضع الذي يحدث فيه التفكير -داخل الدماغ البشري أو داخل الكائن المفكر المجرد- فإنه يعني معالجة المعلومات. لذلك يخبرنا ارتباط إنتروبيا بالمعلومات بأن معالجة المعلومات، وظيفة التفكير، يمكن أيضًا وصفها بأنها معالجة للإنتروبيا. وبما أن معالجة الإنتروبيا -نقل الإنتروبيا من هذا الموضع إلى ذاك- تتطلّب نقل الحرارة، كما أوضحنا في الفصل الثاني، فسيكون لدينا مزيج من ثلاثة مفاهيم: التفكير، والإنتروبيا، والحرارة. استخدم دايسون النسخة الرياضية للروابط بين كل منها لتحديد كمية الحرارة التي يحتاج الكائن المفكّر إلى طردها بناءً على عدد الأفكار التي يمتلكها. (بالنسبة إلى القراء ذوي الميول الرياضية، فإن الصيغة موجودة في التعليقات الختامية)[33]. وتشير كثرة الأفكار إلى ضرورة طرد الكثير من الحرارة، فيما تشير قلتها إلى ضرورة طرد حرارة أقل.

يتعيّن على الكائن المفكّر، كي يزود عملية التفكير لديه بالطاقة، أن يستخلص الطاقة من البيئة المحيطة. وبما أن الحرارة في حد ذاتها شكلٌ من أشكال الطاقة، فإن كمية الطاقة التي يستهلكها الكائن المفكر يجب أن تكون على الأقل بنفس حجم كمية الحرارة التي يحتاج الكائن المفكّر إلى طردها. تتّسم الطاقة المُدخَلَة بجودة أعلى (حتى يتسنّى للكائن المفكر تسخيرها بسهولة) من الحرارة الناتجة (التي تعد بمنزلة مخلفات ومن ثم يجب تشتيتها)، ولكن لا يستطيع الكائن المفكّر أن يطلق من الطاقة أكثر مما يمتص. وهكذا توضح حسابات دايسون الحد الأدنى من الطاقة العالية الجودة التي يحتاج الكائن المفكّر إلى امتصاصها من البيئة، وبذا تضفي على التحدّي طابعًا كميًّا: فعندما تحترق النجوم، وتتفسخ المجموعات الشمسية، وينفرط عقد المجرّات، وتتفكّك المادة، ويتمدّد الكون ويبرد، سيواجه الكائن المفكّر المهمة الصعبة المتزايدة المتمثلة في جمع الطاقة المركزة العالية الجودة والمنخفضة الإنتروبيا التي يحتاجها من أجل مواصلة التفكير. وفي ضوء ندرة المؤن، يحتاج الكائن المفكر إلى استراتيجية فعالة لإدارة الموارد والتخلّص من النفايات؛ أي خطة تفصيلية لامتصاص الطاقة المنخفضة الإنتروبيا وطرد الحرارة العالية الإنتروبيا. لنحذو حذو دايسون ونبتكر معًا خطة كهذه.

دعونا، كخطوة أولى، نضع افتراضًا معقولًا مفاده أن سرعة العمليات الداخلية للكائن المفكّر، بصرف النظر عن ماهيتها، تتناسب مع درجة حرارة الكائن المفكر[34]. عند درجات الحرارة المرتفعة، تتحرّك الجُسَيْمات بسرعة أكبر، ومن ثَم يفكر الكائن المفكّر بسرعة أكبر، ويستهلك الطاقة بسرعة أكبر، وينتج المخلّفات بسرعة أكبر. وعند درجات الحرارة المنخفضة، يتباطأ كل هذا. وفي مواجهة كون متمدّد وبارد وهادئ على نحو متزايد، يحتاج الكائن المفكّر، الذي يطمح إلى مواصلة التفكير لأطول فترة ممكنة، إلى التركيز على حفظ الطاقة، بحيث يُجري عملية حرق طويلة وبطيئة بدلًا من وميض سريع ومكثّف. لذلك ننصح الكائن المفكّر بالاقتداء بالكون: فمع مرور الوقت، يجب على الكائن المفكّر باستمرار خفض درجة حرارته، وإبطاء تفكيره، وتقليل المعدل الذي يستهلك به الإمداد المتناقص من طاقة الكون ذات الجودة العالية.

نظرًا إلى أن كل ما يفعله الكائن المفكّر هو التفكير، فإن احتمالية التفكير البطيء ليست جذابة كثيرًا. لكننا سنواسي الكائن المفكّر بأن نقول له: «أنت تفكر في هذا كله بصورة خاطئة. وبما أن كل عملياتك الداخلية ستتباطأ معًا، فلن تتغيّر خبرتك الذاتية على الإطلاق. ولن تلحظ أي تغيير في تفكيرك. ربما تلاحظ أن بعض العمليات المختلفة في البيئة المحيطة يبدو أنها تعمل بسرعة أكبر، لكن أفكارك ستبدو وكأنها تمضي برشاقتها المعتادة». يشعر الكائن المفكّر بالارتياح نتيجة هذه الكلمات ويوافق على اتباع الاستراتيجية لكنه يعرب عن مصدر قلق أخير. «إذا اتبعتُ هذا النهج، فهل سأكون قادرًا على التفكير في أفكار جديدة إلى الأبد؟».

هذا هو السؤال المحوري، ولذا توقّعنا أن يسأله الكائن المفكر. ونحن جاهزون للإجابة. تكشف الحسابات الرياضية أنه مثل السيارة التي يتحسّن فيها استهلاك الوقود لكل ميل كلما سارت بشكل أبطأ، فإن استهلاك الطاقة مع التفكير يتحسّن كلما فكّر الكائن بشكل أبطأ. أي إن تفكير الكائن المفكّر يصبح أكثر فاعلية عند درجات الحرارة المنخفضة باطراد. لهذا السبب، يستطيع الكائن المفكّر في الواقع التفكير في عدد لا حصر له من الأفكار من دون أن يحتاج سوى إمداد محدود من الطاقة (تمامًا مثلما يمكن لعملية جمع لا نهائية مثل 1 + ▯ + ▯ +... أن يكون حاصلها عددًا نهائيًا، في هذا الحالة العدد اثنين). وبحماسة، نبلغ الكائن المفكّر بالنتيجة: «عن طريق اتباع الخطة، لن تكون قادرًا وحسب على الاستمرار في التفكير إلى الأبد، بل ستكون قادرًا على القيام بذلك بإمداد محدود من الطاقة!»[35].

يبتهج الكائن المفكّر ويشرع في تنفيذ الخطة. لكنه يواجه عقبة غير متوقّعة. فهناك نتيجة مزعجة أخرى للحسابات الرياضية أغفلناها حتى الآن: مثلما يطرد فنجان القهوة

الأكثر برودة حرارةً أقل إلى محيطه مقارنة بالفنجان الأعلى حرارة، فكلما أصبح الكائن المفكّر أبرد، قلّت قدرته على إطلاق الحرارة التي يولّدها تفكيره. يذكرنا الكائن المفكّر قائلًا: «أنتم لا تعرفون سوى أقل القليل عني، لذا ربما ينبغي توخي الحذر قبل نشر شائعات تفيد بأنني أعاني من مشكلات في طرد النفايات». اعتراض وجيه. غير أن هذا، في الواقع، هو مكمن جمال الحسابات الرياضية. فالمنطق يفترض أن الكائن المفكّر يخضع لقوانين الفيزياء المعروفة ويتألف من جُسَيْمات أولية كالإلكترونات. ومن ثَم فإن التحليل عام تمامًا. فلا نحتاج إلى معرفة أي شيء عن علم وظائف الأعضاء أو التركيب التفصيلي للكائن المفكّر كي نستنتج أنه مع انخفاض درجة حرارته، فإن المعدل الذي يمكن أن يطرد فيه الإنتروبيا سينخفض إلى أقل من المعدل الذي ينتج به الإنتروبيا. وفي ضوء هذا الإدراك، ليس أمامنا خيار سوى إعلامه بالخبر. «على الرغم من أن التفكير عند درجات حرارة منخفضة على نحو مطرد أمر ضروري لإطالة أمد التفكير وكذلك للحاجة فقط إلى إمداد محدود من الطاقة، فستأتي نقطة تتراكم فيها الإنتروبيا على نحو أسرع مما يمكنك التخلص منها. ومن تلك النقطة وصاعدًا، إذا حاولت التفكير أكثر، فستحترق في أفكارك»[36].

قبل أن يتمكّن الكائن المفكّر المُحبَط من استيعاب الأمر بالكامل، يقترح أحد أعضاء فريقنا طريقة للمضي قدمًا: السُّبات. فالكائن المفكر يحتاج بصورة دورية إلى راحة من التفكير -أن يُطفئ ذهنه ويخلد إلى النوم- بحيث يوقف إنتاج الإنتروبيا مؤقتًا بينما يستمرّ في التخلّص من كل الحرارة المهدَرَة. وإذا كانت فترة الراحة من التفكير طويلة بما يكفي، فعندما يستيقظ الكائن المفكّر سيكون قد تخلّص من كل النفايات وبذا لن يواجه خطر الاحتراق. وبما أن الكائن المفكّر لن يفكر خلال فترة التوقف، فعندما يستيقظ لن يلاحظ الفجوة. وهكذا نؤكّد للكائن المفكّر، وقد شجعنا هذا الحل، الذي اقترحه دايسون في الأصل في ورقته البحثية الرائدة، أنه في ضوء اتباع هذا الإيقاع يمكن للتفكير أن يستمر إلى الأبد.

لكن هل يمكن ذلك حقًّا؟

خاطرة أخيرة عن التفكير

حدث تطوران لهما صلة تحديدًا بهذه الاستراتيجية في العقود التي تلت نشر ورقة دايسون. ويوضح أحدهما الصلة بين فعل التفكير وإنتاج الإنتروبيا، مما يؤدّي إلى إعادة تفسير متواضعة للنتيجة. أما الآخر فيقوم بتضمين التمدّد المتسارع للفضاء، وهو ما يمكن أن يؤدّي إلى تقويض النتيجة تمامًا، ويضع التفكير في مرمى الإنتروبيا مباشرة.

لنتناول أولًا إعادة التفسير. يتمثّل جوهر منطق دايسون في أن فعل التفكير يُنتج حرارة

بالضرورة. وقد جعلتُ هذا معقولًا من خلال تذكّر أن التفكير مرتبط بالمعلومات، والمعلومات مرتبطة بالإنتروبيا، والإنتروبيا مرتبطة بالحرارة. غير أن الروابط معقّدة، وتبين الأفكار الأحدث، الواردة بالأساس من علوم الكمبيوتر، أن هناك طرقًا ذكية لتنفيذ معالجة المعلومات الأولية -مثل إضافة واحد إلى واحد والحصول على اثنين- من دون أي تدهور في الطاقة[37]. وبافتراض أن التفكير والحوسبة لهما الطبيعة ذاتها، فلن يولد الكائن المفكّر الذي يتبنى هذه الاستراتيجية أي هدر على الإطلاق.

ومع ذلك، تظهر الاعتبارات ذات الصلة الواردة من علوم الكمبيوتر أن ثمة نسخة من الارتباط بين التفكير والانتروبيا والحرارة الذي دفع تحليلنا الأولي لا تزال قائمة، كل ما في الأمر أنها ذات نكهة مختلفة قليلًا. وتظهر النتائج أنه إذا قام الكمبيوتر بمحو أي من بنوك الذاكرة الخاصّة به، ستنتج حرارة مهدرة بالضرورة. (تذكّر أن الحرارة المهدرة تنتج بشكل عام من خلال عمليات يصعب عكسها، مثل تحطيم الزجاج، ومحو البيانات يجعل من الصعب عكس أي عملية حسابية، لذا ليس من المستغرب تحديدًا أن ينتج المحو حرارة)[38]. بوضع ذلك في الاعتبار، نحتاج إلى تعديل نصيحتنا إلى الكائن المفكّر تعديلًا طفيفًا. فالكائن المفكّر يستطيع التفكير من دون الحاجة إلى طرد الحرارة بشرط ألّا يمحو ذاكرة أبدًا. ولكن بافتراض أن الكائن المفكّر محدود المدى، فستكون سعة الذاكرة لديه محدودة، وستُملأ عاجلًا أو آجلًا إلى حدها الأقصى. وبمجرد أن يحدث ذلك، فإن كل ما يستطيع الكائن المفكّر فعله داخليًا هو إعادة خلط المعلومات الثابتة الموجودة في الذاكرة، والتأمّل في الأفكار القديمة بلا نهاية، وليست هذه نسخة الخلود التي سيختارها الكثيرون منا. وإذا أراد الكائن المفكّر امتلاك القدرة الإبداعية على التفكير في أفكار جديدة، وغرس ذكريات جديدة، واستكشاف نطاقات فكرية جديدة، فسيتعين عليه السماح بالمحو، ومن ثم إنتاج الحرارة وإعادتنا مباشرة إلى الموقف الذي ناقشناه في القسم السابق وإلى استراتيجية السبات التي أوصينا بها هناك.

التطوّر الثاني أشد وطأة. إن اكتشاف أن تمدّد الفضاء يتسارع يوجد عقبة جديدة ربما لا يمكن التغلب عليها أمام التفكير اللامتناهي[39]. فإذا استمر التمدّد المتسارع من دون توقف، على النحو الذي تشير إليه البيانات حاليًا، فإن المجرّات البعيدة ستختفي عند الطابق الثاني عشر كما أوضحنا، كما لو أنها سقطت من فوق جرف على حافة الفضاء. يعني هذا أننا محاطون بأفق كروي بعيد يرسي حدود ما يمكننا رؤيته من الناحية النظرية. وكل شيء أبعد من ذلك الحد ينحسر عنا بسرعة أكبر من سرعة الضوء، وبالتالي فإن أي ضوء ينبعث من هذه المسافات لن يصل إلينا أبدًا. ويطلق الفيزيائيون على الحد البعيد اسم *أفقنا الكوني*.

يمكنك تصوّر الأفق الكوني البعيد على أنه كرة متوهّجة ضخمة، أشبه بمجموعة

كروية من مصابيح الحرارة البعيدة التي تولّد درجة حرارة خلفية في الفضاء. سأشرح سبب هذا في الفصل التالي (والسبب مرتبط ارتباطًا وثيقًا بفيزياء الثقوب السوداء، التي لها أيضًا آفاق متوهّجة، كما اكتشفها ستيفن هوكينغ)، لكن دعني هنا أشدد على أن درجة الحرارة الآتية من الأفق الكوني المتوهج مختلفة تمام الاختلاف عن درجة حرارة إشعاع الخلفية الميكروني الكوني المتخلف عن الانفجار العظيم والبالغة 2,7 درجة كلفينية. فبمرور الوقت، ستواصل درجة حرارة إشعاع الخلفية الميكروني الكوني الانخفاض، وتقترب من الصفر المطلق مع استمرار تمدّد الفضاء ومواصلة خفوت شدّة إشعاع الخلفية الميكروني الكوني. تسلك درجة الحرارة الناتجة عن الأفق الكوني سلوكًا مختلفًا. فهي ثابتة، وشديدة الضآلة -استنادًا إلى المعدل المقيس للتمدد المتسارع، فهي تبلغ نحو (10^{-30}) درجة كلفينية -لكنها ثابتة. والثبات مهم على المدى الطويل.

لا تتدفّق الحرارة تلقائيًا سوى من الأشياء الأشد سخونة إلى الأشياء الأبرد. وعندما تكون درجة حرارة الكائن المفكّر أعلى من درجة حرارة الكون، فإنه يمتلك فرصة إشعاع الحرارة المهدرة إلى الفضاء. ولكن إذا انخفضت درجة حرارة الكائن المفكر عن درجة حرارة الفضاء، فإن الحرارة ستتدفق في الاتجاه الآخر -من الفضاء إلى الكائن المفكر- مما يمنع الكائن المفكّر من التخلّص من الحرارة المهدرة. وهذا يعني أن استراتيجية السبات محكوم عليها بالفشل. وبينما تواصل درجة حرارة الكائن المفكّر الانخفاض (وهو ما يسمح له بمواصلة التفكير إلى أجل غير مسمى وفق ميزانية طاقة محدودة)، فإنها ستصل عاجلًا أو آجلًا إلى القيمة الضئيلة البالغة (10^{-30}) درجة كلفينية. وعند تلك النقطة تنتهي اللعبة. ولن يقبل الكون حرارته المهدرة. وإذا فكَّر الكائن في فكرة واحدة أخرى (أو، على نحو أدق، إذا قام بعملية محو أخرى) فسيحترق.

يستند هذا الاستنتاج إلى افتراض أن التمدّد المتسارع للفضاء سيستمر دون تغيير. لا أحد يعرف ما إذا كان هذا سيحدث أم لا. فقد يزداد التسارع، ويدفعنا نحو تمزّق عظيم، مما يقلّل احتمالات الحياة والتفكير. أو قد يتباطأ، مما يؤدي إلى تجنب الأفق الكوني، ويطفئ المصابيح الحرارية البعيدة، ويسمح بانخفاض درجة حرارة الكون بلا نهاية. وكما أوضح الفيزيائيان ويل كيني وكاتي فريز، فإن هذا الاحتمال الكوني من شأنه أن يعيد تفاؤل دايسون الأصلي، ويسمح للكائن المفكّر، الذي يواظب على اتباع استراتيجية السبات، بمواصلة التفكير بعيدًا إلى أجل غير مسمى في المستقبل[40].

لا أقصد تبديد شعاع الأمل الوحيد لمستقبل التفكير، ولكن من المفيد أن نلخّص موقف الأشياء. إن سلسلة تفكيرنا قائمة برمَّتها على التفاؤل. وفي عالم ربما يفتقر إلى كل شيء، من النجوم والكواكب إلى الجزيئات والذرات، افترضنا أن بإمكان الكائن المفكّر أن يوجد. وفي حين أن الجُسَيْمات الأولية المستقرة -كالإلكترونات

والنيوترينوات والفوتونات- ستوجد في أرجاء الكون، فإن الأمر يتطلّب خيالًا ورديًا حتى تتخيل عين العقل أنها تجمّعت وكوّنت بنية التفكير. ومع ذلك، لكي نكون منفتحين قدر الإمكان، فقد افترضنا أن مثل هذه البنية يمكن تشكيلها. ومن السارّ بالتأكيد معرفة أنه إذا تمدد الكون بالطريقة الصحيحة، فهناك على الأقل فرصة أن تفكّر هذه الكائنات المفكّرة إلى أجل غير مسمى. ومع ذلك، من الصعب تجنب النتيجة القائلة بأن مستقبل التفكير البعيد محفوف بالخطر.

في الواقع، إذا لم يتباطأ التمدّد المتسارع، فسيأتي وقت ينتهي فيه التفكير تمامًا. إنّ فَهمَنا عام وبدائي للغاية بحيث يتعذّر علينا الخروج بتنبؤ دقيق، لكن وضع أرقام تقريبية في المعادلات يشير إلى أن هذا قد يحدث في غضون الأعوام الـ(10^{50}) القادمة. وكما ذكرنا في البداية، فإننا نجهل ما إذا كانت الحياة الذكية ستتمكّن من البقاء وسط التطوّرات الكونية، وربما تؤثّر على تطوّر النجوم والمجرّات، أو تنقب عن مصادر الطاقة عالية الجودة غير المتوقّعة، أو حتى تتحكّم في معدل تمدّد الفضاء. وبسبب تعقيد الذكاء، من المستحيل التوصل إلى ما هو أكثر من التخمين الجامح، ولهذا السبب اخترت تجنّب مثل هذه التأثيرات تمامًا. لذا، بتنحية التدخل الذكي جانبًا والالتزام الصارم بالقانون الثاني للديناميكا الحرارية، نخلص إلى أنه بحلول الوقت الذي نصعد فيه إلى الطابق الخمسين، ربما يكون الكون قد شهد آخر أفكاره.

وفق جُلّ المقاييس التي تَدَبَّرها البشر، فإن فترة قوامها (10^{50}) عام هي فترة زمنية طويلة جدًّا. وهي قادرة على أن تضم الزمن الممتد منذ الانفجار العظيم إلى اليوم أكثر من مليار مليار مليار مرة. ومع ذلك، فعند تدبّرها من المقياس الزمني للطابق الخامس والسبعين، مثلًا، فإن فترة الـ(10^{50}) عام تكون عابرة؛ إذ تكون أقل بكثير من شعورنا بالتأخير الزمني بين تشغيل مصباح الطاولة ووصول الضوء إلى أعيننا. وبالطبع، إذا كان الكون أبديًا، فإن أي فترة زمنية، مهما كانت طويلة، ستكون في نهاية المطاف متناهية الصغر. ومن منظور هذه المقاييس الزمنية الأطول، سيسير السرد الكوني على النحو التالي: بعد لحظة من الانفجار العظيم، نشأت الحياة، وفكّرت بإيجاز في وجودها داخل كون غير مبالٍ، وتلاشت بعيدًا. إنه تلخيص كوني لرثاء بوزو وهو يتفجّع على أولئك الذين ينتظرون جودو قائلًا: «إنهم يلدون وأرجلهم على القبر، ويومض الضوء للحظة، ثم يحلّ الليل مرة أخرى».

سيرى البعض أن هذا المستقبل قاتم. وهذا هو رأي برتراند راسل، الذي تعرّضنا إلى تقييمه في الفصل الثاني، حتى مع فهمه الأكثر بدائية في منتصف القرن العشرين. لي رأي مختلف؛ إذ أرى أن المستقبل الذي يتخيله العلم الآن يُبرِز إلى أي مدى تتّسم لحظة تفكيرنا، ومضة الضوء الخاصة بنا، بكونها نادرة، ورائعة، وثمينة.

الفصل العاشر

أفول الزمن



الكمّات، والاحتمالية، والأبدية

بعد فترة طويلة من انتهاء التفكير، وفي غياب أي كائنات مفكّرة باقية، ستواصل قوانين الفيزياء فعل ما كانت تفعله دائمًا؛ وصف تكشُّف حوادث الواقع. وبينما تفعل القوانين ذلك فإنها ستجسد إدراكًا أساسيًا مفاده أن ميكانيكا الكم والخلود متّحدان اتحادًا قويًا. إن ميكانيكا الكَمّ مجال حالم من نوع خاص، يسمح بمجموعة واسعة من نسخ المستقبل المحتملة بينما يرسخ رؤيته الجنونية من خلال تحديد احتمالية أي نتيجة معينة. عبر النطاقات الزمنية المألوفة، يمكننا أن نتجاهل بأمان تلك النتائج التي تكون احتمالاتها الكَمّية شديدة الضآلة إلى درجة أننا سنضطر إلى الانتظار لفترة أطول بكثير من العمر الحالي للكون كي نحظى بفرصة معقولة لمواجهتها. ولكن عبر نطاقات زمنية شاسعة للغاية يتضاءل إلى جوارها العمر الحالي للكون، فإن العديد من الاحتمالات التي أمكننا تجاهلها في السابق تسترعي الآن مزيدًا من الاهتمام. وإذا لم يكن هناك حقًا تاريخ نهائي للزمن، فعندئذٍ يمكن لأي نتيجة، ولكل نتيجة، لا تحظّرها قوانين الكَمّ تمامًا -من النتائج المألوفة إلى العجيبة، ومن المرجحة إلى المستبعدة- أن تحظى بفرصة التحقّق عاجلًا أو آجلًا [1].

ستتناول في هذا الفصل عددًا قليلًا من هذه العمليات الكونية النادرة، التي تنتظر أن يحين وقتها كي تتحقق في الواقع.

تفكّك الثقوب السوداء

في منتصف القرن العشرين، تمتّع الفيزيائيون بمكانة بارزة بفضل دورهم الحاسم في الفترات الأخيرة من الحرب العالمية الثانية. كانت مجالات البحث المهيمنة هي الفيزياء النووية وفيزياء الجُسَيْمات، وهي مجالات دراسة منحت الفيزيائيين، على حد تعبير فريمان دايسون، قدرة شبه إلهية «على تحرير هذه الطاقة التي تغذي النجوم... وعلى رفع مليون طن من الصخور إلى السماء»[2]. على النقيض من ذلك، كان يُنظَر

إلى النسبية العامة على أنها مجال متخصّص ولّت أيام مجده وانقضت. بيد أن الفيزيائي جون ويلر غَيَّرَ ذلك. كانت مساهمات ويلر في الفيزياء النووية والكمية عديدة ومؤثرة، وامتلك شغفًا دائمًا بالنظرية النسبية العامة. كان لديه أيضًا قدرة خارقة على إلهام الآخرين بحماسته. وخلال العقود التالية، دَرَّبَ ويلر بعضًا من أمهر الفيزيائيين في العالم، الذين عملوا معه لإعادة تأسيس النسبية العامة كمجال حيوي للبحث العلمي.

افتُتن ويلر بالثقوب السوداء بشكل خاص. وفقًا للنسبية العامة، بمجرد أن يسقط شيء ما داخل ثقب أسود، فسيعجز عن الإفلات منه. لقد انتهى أمره. بشكل دائم. وعن طريق التفكير مَليًا في هذا الأمر في أوائل السبعينيات، واجه ويلر لغزًا، وذكر هذا اللغز لأحد طلابه وهو جاكوب بيكنشتاين. كان يبدو أن الثقوب السوداء تقدّم استراتيجية جاهزة لانتهاك القانون الثاني للديناميكا الحرارية. وفكّر ويلر: إذا أمسكت قدحًا ساخنًا من الشاي وألقيته في ثقب أسود قريب. أين تذهب إنتروبيا الشاي؟ بما أنه يستحيل الوصول من الخارج إلى ما بداخل الثقب الأسود، يبدو أن الشاي الساخن، مع الإنتروبيا الخاصّة به، قد اختفى. وخشي ويلر من أن التخلّص من الإنتروبيا في ثقب أسود يوفّر وسيلة موثوقة لخرق القانون الثاني عمدًا.

بعد بضعة أشهر، عاد بيكنشتاين إلى ويلر بحل لهذا اللغز. وأعلن أن إنتروبيا الشاي لم تختفِ، بل إنها انتقلت ببساطة إلى الثقب الأسود. ومثلما يؤدّي إمساك يد مقلاة ساخنة إلى نقل بعض إنتروبيا المقلاة إلى يدك، اقترح بيكنشتاين أن أي شيء يسقط في الثقب الأسود ينقل الإنتروبيا الخاصّة به إلى الثقب الأسود نفسه.

إنها استجابة طبيعية، خطرت أيضًا على ذهن ويلر[3]. ومع ذلك فإنها تصطدم على الفور بمشكلة. فالإنتروبيا، كما رأينا، تُحصي عدد عمليات إعادة ترتيب مكوّنات النظام التي تجعله «يبدو متماثلًا بدرجة كبيرة». أو، على نحو أدق، تُحصي الإنتروبيا التكوينات المتمايزة للمكونات المتناهية الصغر للنظام التي تتوافق مع حالته العيانية. وإذا نقل الشاي الإنتروبيا الخاصة به إلى الثقب الأسود، من المفترض أن تظهر الإنتروبيا على صورة زيادة في عدد عمليات إعادة الترتيب الداخلية للثقب الأسود التي ليس لها تأثير على السمات العيانية للثقب الأسود.

ها هي المشكلة: في أواخر الستينيات وأوائل السبعينيات، استخدم الفيزيائيان فيرنر إسرائيل وبراندون كارتر معادلات النسبية العامة لبيان أن الثقب الأسود يتحدّد بالكامل من واقع ثلاثة أرقام فقط: كتلة الثقب الأسود، والزخم الزاوي للثقب الأسود (السرعة التي يدور بها)، والشحنة الكهربائية للثقب الأسود[4]. وبمجرد قياس هذه السمات العيانية، يصير لديك كل المعلومات اللازمة لوصف الثقب الأسود وصفًا كاملًا. يعني

هذا أن أي ثقبين أسودين لهما نفس السمات العيانية -نفس الكتلة، ونفس الزخم الزاوي، ونفس الشحنة الكهربائية- متطابقان تطابقًا تفصيليًا. لذلك، خلافًا لمجموعة البنسات التي يسمح فيها تحديد ثمانية وثلاثين وجه صورة واثنين وستين وجه كتابة، مثلًا، بمليارات ومليارات من الترتيبات المختلفة للعملات المعدنية، وخلافًا للوعاء البخاري الذي يسمح فيه تحديد الحجم ودرجة الحرارة والضغط بوجود عدد هائل من الترتيبات المتمايزة للجزيئات، عندما يتعلّق الأمر بالثقوب السوداء، فإن تحديد الكتلة والزخم الزاوي والشحنة الكهربائية يشير بشكل صارم إلى ترتيب واحد فقط. وفي غياب أي ترتيبات أخرى يمكن إحصاؤها، أو صور شبيهة يمكن عدّها، يبدو أن الثقوب السوداء لا تحمل أي إنتروبيا على الإطلاق. وإذا ألقيت فيها قدحًا من الشاي، فستختفي الإنتروبيا الخاصّة به على ما يبدو. ففي مواجهة الثقب الأسود، يبدو أن القانون الثاني للديناميكا الحرارية ينهار.

رفض بيكنشتاين هذا الوصف، وأعلن أن الثقوب السوداء فيها إنتروبيا بالفعل. علاوة على ذلك، عندما يسقط شيء ما في ثقب أسود فإن إنتروبيا الثقب تزداد بالمقدار الصحيح تمامًا بحيث يكون الوضع ملائمًا لتطبيق القانون الثاني. لفهم منطق بيكنشتاين، لاحظ أولًا أنه عندما يسقط شيء ما في ثقب أسود، فإن كتلته لا تُفقَد. وكل من درسوا النسبية العامة وفهموها متفقون على أن أي شيء يسقط فيه يظهر على صورة زيادة في كتلة الثقب الأسود نفسه. لتصوّر العملية، تخيل *أفق الحدث* الخاص بثقب أسود، ذلك السطح الكروي الذي يُعَيِّن حدود الثقب الأسود، والذي يحدّد نقاط اللاعودة. تُظهِر الحسابات الرياضية أن نصف قطر أفق الحدث يتناسب طرديًا مع كتلة الثقب الأسود: فالكتلة الأقل تعني أفقًا أصغر، والكتلة الأضخم تعني أفقًا أكبر. وعندما تلقي شيئًا داخل ثقب أسود فإن كتلته تزداد، ولذا ينبغي أن تتخيّل أفقه وهو ينتفخ إلى الخارج استجابةً لذلك. فعندما يأكل الثقب الأسود يتسع خصره الكروي.

سيرًا على نهج بيكنشتاين[5]، تخيل الآن أنه قُذف في الثقب الأسود مسبارٌ خاص، مُصمَّم بعناية لدراسة الكيفية التي يستجيب بها الثقب الأسود للإنتروبيا. ولتحقيق هذه الغاية، نجهِّز فوتونًا واحدًا طوله الموجي طويل جدًّا -بحيث تكون مواقعه المحتملة منتشرة على مساحة واسعة- إلى درجة أنه عندما يواجه الثقب الأسود فإن الوصف الأدق الذي يمكننا تقديمه للنتيجة يتم التعبير عنه بوحدة واحدة من المعلومات: إما أن الفوتون سقط في الثقب الأسود أو لم يسقط. بحكم التصميم، يكون موضع الفوتون ضبابيًا للغاية، إلى درجة أنه إذا اقتنصه الثقب الأسود فلن يمكننا تقديم وصف أكثر تفصيلًا مثل تحديد أن الفوتون دخل الثقب الأسود عبر هذه النقطة أو تلك في الأفق.

وهذا الفوتون يحمل وحدة واحدة من الإنتروبيا، وبذا فإنه يتيح لنا أن ندرس رياضيًا كيفية استجابة الثقب الأسود عندما يلتهم وحدة واحدة من الإنتروبيا.

نظرًا إلى أن الفوتون له طاقة، وبما أن الطاقة والكتلة وجهان لعملة واحدة بحسب توصيف أينشتاين (وفق المعادلة: الطاقة تساوي الكتلة مضروبة في مربع سرعة الضوء، (أو $E = mc^2$)، فإذا التهم الثقب الأسود الفوتون ستزداد كتلته قليلًا ويتّسع أفق الحدث الخاص به قليلًا. لكن العنصر الحاسم يكمن في التفاصيل. فقد لاحظ بيكنشتاين نمطًا مهمًّا: عن طريق قذف وحدة واحدة من الإنتروبيا، فإن أفق الحدث للثقب الأسود سيتّسع بمقدار وحدة واحدة من المساحة (ما يسمى *الوحدة الكمية للمساحة* أو مساحة بلانك، التي تبلغ نحو (10^{-70}) مترًا مربعًا)[6]. وإذا قذفت وحدتين من الإنتروبيا، ستزداد مساحة السطح بمقدار وحدتين من المساحة. وهكذا دواليك. وبذا يبدو أن مساحة سطح أفق الحدث للثقب الأسود مرتبطة بالإنتروبيا التي ابتلعها الثقب الأسود. رفع بيكنشتاين النمط إلى مصاف المقترح: *تتحدّد الإنتروبيا الكلية للثقب الأسود بواسطة المساحة الإجمالية لأفق الحدث الخاص به* (والمقيسة بوحدات بلانك). وكانت هذه هي الفكرة الجديدة التي قدمها بيكنشتاين إلى ويلر.

لم يستطع بيكنشتاين تفسير الارتباط المفاجئ بين إنتروبيا الثقب الأسود وسطحه الخارجي؛ أي أفق الحدث الخاص به، وهذا الارتباط غير متوقع لأن إنتروبيا أي جسم عادي، مثل قدح الشاي، توجد داخله، في حجمه. كما لم يستطع بيكنشتاين أن يفسّر الكيفية التي يرتبط بها مُقترحه بالإطار التقليدي الذي يُفترَض فيه بالإنتروبيا أن تُحصي عمليات إعادة الترتيب المحتملة للمكونات المتناهية الصغر للثقب الأسود (وهي قضية ستظل خامدة في العموم حتى منتصف التسعينيات، عندما قدّمت نظرية الأوتار بعض الرؤى الثاقبة بشأنها). ولكن كأداة محاسبة، قدّم مقترحه طريقة كمية لإنقاذ القانون الثاني للديناميكا الحرارية. وكان الإصلاح فوريًّا: فعند تتبع الإنتروبيا الكلّية، لن تحتاج إلى حساب مساهمات المادة والإشعاع فقط، ولكن ستحسب أيضًا مساهمات الثقوب السوداء. إن إلقاء الشاي في ثقب أسود يقلل من الإنتروبيا على طاولة الإفطار، ولكن إذا قمت بحساب الزيادة في مساحة سطح أفق حدث الثقب الأسود، فستدرك أن الانخفاض في الإنتروبيا الذي تستمتع به في المنزل تقابله زيادة في إنتروبيا الثقب الأسود نفسه. ومن خلال توفير خوارزمية لتضمين الثقوب السوداء في حساب الإنتروبيا، أحيا بيكنشتاين القانون الثاني من جديد، مما أتاح تطبيقه دون مشكلات.

عندما سمع ستيفن هوكينج بمُقترح بيكنشتاين، اعتبره سخيفًا. وكان للعديد من الفيزيائيين الآخرين رأي مماثل. فقد اكتسبت الثقوب السوداء هالة من البساطة

التامة، بفضل تحديدها بالكامل من خلال ثلاثة أرقام فقط وكونها تتألّف بالأساس من الفضاء الخاوي (كل شيء يسقط في الثقب الأسود ينجذب دون هوادة نحو نقطة التفرّد المركزية). وكان الرأي السائد، باختصار، هو أن الثقوب السوداء لا تستطيع أن تحمل الفوضى لأنه لا يوجد بداخلها ما يمكن أن يضطرب. قاد هوكينج الهجوم على بيكنشتاين، وأطلق حساباته الخاصة باستخدام مزيج دقيق من الأساليب الرياضية للنسبية العامة وميكانيكا الكم، والتي توقّع أن تكشف بسرعة عن مغالطة في منطق بيكنشتاين. لكن بدلًا من ذلك، قادت الحسابات هوكينج إلى استنتاج صادم للغاية إلى درجة أنه استغرق بعض الوقت لتصديقه. فلم يؤكّد تحليل هوكينج تحليل بيكنشتاين فحسب، بل كشف أيضًا عن مفاجآت تكميلية: فالثقوب السوداء لها درجة *حرارة* وتتوهّج. فهي تطلق إشعاعًا. وليست الثقوب السوداء سوداء إلّا بالاسم فقط. أو، بتعبير أدق، تكون الثقوب السوداء سوداء فقط إذا تجاهلت فيزياء الكم.

باختصار، هذا هو جوهر تفكير هوكينج.

وفقًا لميكانيكا الكم، فإن أي منطقة صغيرة من الفضاء ستؤوي دائمًا نشاطًا كميًا. وحتى إذا بدت المنطقة فارغة، بحيث لا تحوي أي طاقة على الإطلاق، تبيّن نظرية الكم أن محتواها من الطاقة يتذبذب في الواقع بسرعة لأعلى ولأسفل، بحيث ينتج طاقة قيمتها صفر في المتوسط فقط. وهذه هي نفس نوعية التفاوتات الكمية التي أدت إلى تغيرات درجة الحرارة في إشعاع الخلفية الميكروني الكوني التي تعرّضنا لها بالنقاش في الفصل الثالث. ومن خلال المعادلة «الطاقة تساوي الكتلة مضروبة في مربع سرعة الضوء»، من الممكن أن تظهر هذه التفاوتات الكمية أيضًا على صورة تفاوتات في الكتلة الكمية؛ أي على صورة جُسَيْمات وجُسَيْمات مضادة تظهر إلى حيز الوجود في الفضاء الخاوي. يحدث هذا الآن أمام عينيك، ولكن مهما حدّقت في تركيز فلن ترى أي دليل عليه. والسبب هو أن ميكانيكا الكم تُملي أيضًا على أزواج الجُسَيْمات والجُسَيْمات المضادة هذه أن يجد بعضها بعضًا بسرعة، وأن تفنَى وتتلاشى مرة أخرى في الفضاء الخاوي. ونرصد البصمات غير المباشرة لهذه العمليات السريعة الزوال لأننا عندما ندرجها في حساباتنا نحقّق اتفاقًا مذهلًا بين التنبوءات والقياسات، ذلك الاتفاق الذي جعل ميكانيكا الكم عن حق حجر الزاوية في الفيزياء الأساسية[7].

أعاد هوكينج النظر في هذه العمليات الكمية لكنه تخيلها الآن وهي تحدث خارج أفق حدث الثقب الأسود. عندما يظهر زوج جُسَيْم-جُسَيْم مضاد في هذه البيئة، في بعض الأحيان سوف يفنى الجُسَيْمان معًا بسرعة، تمامًا كما يحدث في أي مكان آخر. ولكن، وهذا هو مربط الفرس، أدرك هوكينج أن هذه الأزواج لن تفنى في بعض الأحيان.

فأحيانًا يمتص الثقب الأسود أحد الجُسَيْمين. ومن ثم ينطلق الجُسَيْم الباقي، الذي حُرِم الآن من شريك يفنى معه (والمكلّف بحفظ الزخم الكلي)، في الاتجاه المعاكس ويندفع نحو الخارج. وحين يحدث هذا بشكل متكرّر في كل منطقة صغيرة من الفضاء على امتداد السطح الكروي لأفق حدث الثقب الأسود، سيظهر الثقب الأسود وكأنه يشع جُسَيْمات في جميع الاتجاهات، وهذا هو ما نسميه الآن *إشعاع هوكينج*.

علاوة على ذلك، وفقًا للحسابات، فإن كل جُسَيْم يسقط بهذه الصورة في الثقب الأسود لديه طاقة *سالبة* (ربما ليس هذا مستغربًا، نظرًا إلى أن الجُسَيْم الشريك الذي يهرب من الثقب لديه طاقة موجبة، وأنه يجب حفظ الطاقة الكلية). وبينما يستهلك الثقب الأسود جُسَيْمات الكتلة السالبة هذه، يبدو الأمر كما لو أنه يلتهم سعرات حرارية سالبة، مما يؤدّي إلى انخفاض كتلته وليس ارتفاعها. وبذا عند النظر إلى الثقب الأسود من الخارج، فإنه يبدو وكأنه ينكمش على نحو مطّرد بينما تشعّ الجُسَيْمات. ولولا أن مصدر الإشعاع عجيب –ثقب أسود مغمور في تيار كمي من الجُسَيْمات المتقلبة النابعة من الفضاء الخاوي– لبدت هذه العملية عادية تمامًا، مثل جمرة الفحم المتوهجة التي تشع الفوتونات بينما تخمد ببطء[8].

ومثلما يتفق الثقب الأسود المتنامي، سواء أكان يستهلك الشاي الساخن أو النجوم المضطربة، تمامًا مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية، فإن الثقب الأسود المنكمش يتفق مع نفس القانون أيضًا. ويعني الانخفاض في مساحة أفق حدث الثقب الأسود المنكمش أن الإنتروبيا الخاصة به تقل، غير أن الإشعاع الذي يبعثه الثقب الأسود، ويتدفّق إلى الخارج وينتشر عبر امتداد مكاني أوسع وأوسع، ينقل كمية أكثر من كافية من الإنتروبيا التعويضية إلى البيئة. وهذه الرقصة مألوفة: عندما تشع الثقوب السوداء، فإنها تمارس رقصة الإنتروبيا الثنائية.

أضْفَت النتيجة التي توصّل إليها هوكينج الدقّة الرياضية على كل هذا. ومن بين أشياء عديدة أخرى، اكتشف هوكينج معادلة دقيقة لحساب درجة حرارة ثقب أسود متوهّج. سأقدّم شرحًا نوعيًا لهذه النتيجة في القسم التالي (وبالنسبة للقرّاء ذوي الميول الرياضية، أوردت الصيغة في التعليقات الختامية[9])، بيد أن السمة الأوثق صلة بنا هنا هي أن درجة الحرارة *تتناسب عكسيًا* مع كتلة الثقب الأسود. ومثلما تكون الكلاب الدانماركية الكبيرة الناضجة ضخمة الحجم ومعتدلة المزاج، في حين تكون كلاب التشيه تزو صغيرة الحجم وشديدة العصبية، فإن الثقوب السوداء الكبيرة تكون هادئة وباردة في حين تكون الثقوب السوداء الصغيرة محمومة وساخنة. وتوضح بعض الأرقام، التي توصّلنا إليها بفضل صيغة هوكينج، هذا الأمر. بالنسبة إلى الثقب الأسود

الكبير، مثل الثقب الموجود في مركز مجَرّتنا والذي تبلغ كتلته أربعة ملايين مرة قدر كتلة الشمس، فإن صيغة هوكينج تقضي بأن درجة حرارته شديدة الضآلة إذ تبلغ جزءًا من مائة من تريليون درجة فوق الصفر المطلق (10^{-14} درجة كلفينية). وبالنسبة إلى ثقب أسود أصغر حجمًا، تعادل كتلته كتلة الشمس، تكون درجة الحرارة أعلى، لكنها بعيدة عن أن تكون معتدلة، إذ تقل قليلًا عن عُشر جزء من المليون من الدرجة (10^{-7} درجة كلفينية). أما الثقب الأسود الدقيق، الذي تعادل كتلته كتلة برتقالة مثلًا، فستكون درجة حرارته شديدة الارتفاع إذ ستبلغ نحو تريليون التريليون درجة (10^{24} درجة كلفينية).

بالنسبة إلى الثقب الأسود الذي تزيد كتلته عن كتلة القمر، ستكون درجة حرارته أقل من درجة حرارة إشعاع الخلفية الميكروني الكوني الذي يتخلّل الكون بأسره والبالغة 2,7 درجة كلفينية. هذه معلومة يمكن استخدامها في الدردشات العلمية في حفلات الكوكتيل، وهي أيضًا حقيقة عددية ذات أهمية كونية. فنظرًا إلى أن الحرارة تتدفّق تلقائيًا من درجات حرارة الأعلى إلى درجات حرارة الأدنى، فسوف تتدفّق الحرارة من البيئة الباردة العامرة بالإشعاع الميكروني المحيطة بمثل هذا الثقب الأسود إلى الثقب الأسود الأشد برودة. وعلى الرغم من أن الثقب الأسود يصدر إشعاع هوكينغ، إلّا أنه بشكل عام سوف يستهلك من الطاقة أكثر مما يطلق، وبذا يتّسع ببطء. ونظرًا إلى أن أصغر الثقوب السوداء التي رصدتها المشاهدات الفلكية حتى الآن أضخم كثيرًا من القمر، فهي جميعًا في طور الامتلاء. ومع ذلك، مع استمرار الكون في التمدد، سيواصل إشعاع الخلفية الميكروني الخفوت، وستبرد درجة حرارته على نحو مطرد. وفي المستقبل البعيد، عندما تنخفض درجة الحرارة الخلفية للفضاء إلى ما دون درجة حرارة أي ثقب أسود، سيتحول ميزان الطاقة، وسيصدر الثقب الأسود من الطاقة أكثر مما يستقبل، وسيبدأ في الانكماش نتيجة لذلك.

وفي النهاية، ستنتهي الثقوب السوداء أيضًا.

ما زال العديد من الأسئلة المتعلقة الثقوب السوداء في طليعة الأبحاث المعاصرة، وأحد الأسئلة ذات الأهمية الكبيرة لمناقشتنا هنا يتعلّق باللحظات الأخيرة لوجود الثقب الأسود. فبينما يطلق الثقب الأسود إشعاعًا، تقل كتلته، ومن ثَم ترتفع درجة حرارته. ماذا يحدث عندما يشارف الثقب الأسود على الفناء، عندما تقترب كتلته من الصفر وترتفع درجة حرارته نحو اللانهاية؟ هل سينفجر؟ هل سيتلاشى؟ أم شيء آخر؟ لا نعلم الإجابة. ومع ذلك، فإن الفهم الكمي لإشعاع هوكينج مَكَّنَ الفيزيائي دون بيدج من تحديد المعدل الذي ينكمش به أي ثقب أسود، وبالتالي تحديد الزمن الذي سيستغرقه للوصول إلى لحظته النهائية؛ بصرف النظر عن تفاصيل تلك اللحظة[10]. وإذا اعتبرنا كتلة

الشمس نموذجًا لتلك الثقوب السوداء التي تتكوّن نتيجة احتضار نجم، تظهر نتيجة بيدج أنه بحلول الطابق الثامن والستين من مبنى الإمباير ستايت، بعد (10^{68}) عام من الانفجار العظيم، ستكون هذه الثقوب السوداء قد أطلقت آخر دفقات الإشعاع وانطفأت.

تفكك الثقوب السوداء المتطرّفة

يُعتقَد بأن الثقوب السوداء الموجودة في مركز غالبية المجرّات، إن لم يكن كلّها، ذات كتل عملاقة. ومع تقدم المسوحات الفلكية، أقصي كل ثقب حامل للرقم القياسي على يد الثقب التالي عليه، مع وصول الكتل إلى ما يعادل مائة مليار مرة قدر كتلة الشمس. والثقب الأسود بهذه الكتلة له أفق حدث كبير جدًّا بحيث يمكن أن يمتد من الشمس إلى ما بعد مدار نبتون وجزء كبير من الطريق نحو سحابة أورت. وحتى إذا كنت قد نسيت أورت وسحابته البعيدة، فلتعلم فقط أن وصول ضوء الشمس إليها يستغرق أكثر من مائة ساعة، وبذا فنحن نتحدّث عن ثقب أسود ذي نطاق هائل. لكن كما سأوضح الآن فإن الحجم الهائل لهذه الثقوب السوداء هو السبب الأساسي لسلوكها الهادئ.

وفقًا للنسبية العامة، فإن وصفة تكوين ثقب أسود بسيطة للغاية: اجمع أي كمية من الكتلة وشكّلها على هيئة كرة صغيرة الحجم بما يكفي[11]. وبطبيعة الحال، حتى المعرفة العابرة بالثقوب السوداء ستقودك إلى توقع أن الوصفة «صغيرة الحجم بما يكفي» يعني حقًّا صغيرة *للغاية*، أو صغيرة بشكل *مذهل*، أو صغيرة بشكل *سخيف*. وفي بعض الحالات يكون توقّعك صحيحًا. فمن أجل تحويل ثمرة جريب فروت إلى ثقب أسود ستحتاج إلى ضغطها حتى يصل قطرها إلى (10^{-25}) سم، ولتحويل كوكب الأرض إلى ثقب أسود، ستحتاج إلى ضغطه حتى يصل قطره إلى نحو سنتيمترين، وبالنسبة إلى الشمس، عليك أن تضغطها حتى يصل قطرها إلى ستة كيلومترات. يتطلّب كل مثال ضغطًا هائلًا للمادة، مما يعزز الحدس السائد بأن تكوين الثقب الأسود يتطلّب كثافات هائلة. ولكن إذا واصلت تسجيل الأمثلة التي تتجاوز كتلة الشمس، مع التركيز على تكوين ثقوب سوداء أكبر وأكبر، فستصادف نمطًا قد يفاجئك.

كلما زادت كمية المادة المستخدمة في تكوين الثقب الأسود، قلّت الكثافة المطلوبة التي يجب ضغط هذه المادة إليها. وإذا سمحت لي بتفسير الأمر بعبارة رياضية واحدة، أو اثنتين، فسيكون السبب واضحًا على الفور: فنظرًا إلى أن نصف قطر أفق الحدث للثقب الأسود يتناسب طرديًّا مع كتلته، فإن حجمه يتضاعف مع مكعب الكتلة، وبذا فإن متوسط الكثافة –الكتلة لكل حجم– ينخفض مع مربع الكتلة. فإذا زادت الكتلة بمعامل قدره اثنين انخفضت الكثافة بمعامل قدره أربعة، وإذا زادت الكتلة بمعامل قدره ألف انخفضت الكثافة بمعامل قدره مليون. وبتنحية الرياضيات جانبًا، تتمثل النقطة النوعية

في أنه عند تكوين الثقب الأسود، كلما كانت الكتلة أكبر، قلت الحاجة إلى ضغط تلك الكتلة. ولتكوين ثقب أسود مثل ذلك الموجود في مركز مجرة درب التبانة، والذي تبلغ كتلته نحو أربعة ملايين مرة قدر كتلة الشمس، فإنك تحتاج إلى مادة تعادل كثافتها مائة مرة قدر كثافة الرصاص، لذا لا يزال ينتظرك بعض الضغط الشديد. ولبناء ثقب أسود تبلغ كتلته مائة مليون مرة قدر كتلة الشمس، تنخفض الكثافة اللازمة إلى كثافة الماء. ولتكوين ثقب أسود تعادل كتلته أربعة مليارات مرة قدر كتلة الشمس، فإن الكثافة التي تحتاجها تتساوى مع كثافة الهواء الذي تتنفّسه الآن. وإذا جمعت كتلة مقدارها أربعة مليارات مرة قدر كتلة الشمس في الهواء، وخلافًا لحالة ثمرة الجريب فروت أو الأرض أو الشمس، فإنك لن تحتاج من أجل تكوين ثقب أسود إلى ضغط الهواء على الإطلاق؛ إذ ستشكل الجاذبية التي تؤثر على الهواء ثقبًا أسود من تلقاء نفسها.

أنا لا أؤيد استخدام أكياس الهواء باعتبارها مادّة خامًا واقعية لتكوين ثقوب سوداء فائقة الكتلة، ولكن حقيقة أن الثقب الأسود الذي تبلغ كتلته أربعة مليارات مرة قدر كتلة الشمس ستعادل كثافته في المتوسط كثافة الهواء، حقيقة لافتة للنظر، وتُعد توضيحًا وافيًا للكيفية التي يمكن بها أن تختلف سمات الثقوب السوداء عن التصورات الرائجة[12]. تتسم هذه الثقوب السوداء بكونها عملاقة إذا جرى تقييمها وفق كتلتها وحجمها، لكنها تبدو هادئة عند تقييمها وفق متوسّط كثافتها، مما يجعلها عمالقة لطيفة من دون ريب. وبهذا المعنى، فإن الثقوب السوداء الأكبر حجمًا تكون أقل تطرفًا من الثقوب السوداء الأصغر، وهو إدراك يعطي تفسيرًا بديهيًا لاكتشاف هوكينج أنه كلما زادت كتلة الثقب الأسود، انخفضت درجة حرارته وزاد توهجه.

وبذا فإن طول عُمر الثقوب السوداء الكبيرة يستفيد من عاملين مرتبطين: فلديها كتلة أكبر تشعّها، وفي ظل درجات الحرارة المنخفضة فإنها تشعّ تلك الكتلة ببطء أكبر. وبالتعويض بالأرقام في المعادلات، نجد أن الثقب الأسود الذي تبلغ كتلته نحو مائة مليار مرة قدر كتلة الشمس سوف يذوي ببطء شديد، بحيث إنه سيتعيّن علينا الوصول إلى الطابق العلوي من مبنى الإمباير ستايت، الطابق الثاني بعد المائة، كي ينفث مثل هذا الثقب الأسود آخر دفقات الإشعاع لديه ثم يذوي أخيرًا ويبتلعه الظلام الدامس[13].

نهاية الزمن

عند التحديق في الكون من الطابق الثاني بعد المائة، لن نرى الكثير بخلاف غلالة منتشرة من الجُسَيْمات التي تتهادى عبر الفضاء. وبين الحين والآخر، يتسبب التجاذب بين إلكترون وجُسَيْمه المضاد، البوزيترون، في التقريب بينهما أكثر وأكثر على طول مسارين حلزونيَّيْن إلى الداخل إلى أن يتلاشيا في ومضة صغيرة خاطفة، نقطة من

الضوء تخترق السواد بشكل عابر. وإذا استُنزفَت الطاقة المظلمة وتباطأ تمدّد الفضاء، فمن الممكن أن تتراكم الجُسَيْمات داخل ثقوب سوداء أكبر، والتي ستشعّ ببطء أكثر، مما يمنحها عمرًا أطول. ولكن إذا استمرّت الطاقة المظلمة كما هي، فسيتسبّب التمدد المتسارع في الفصل بين الجُسَيْمات بسرعة متزايدة، وهو ما يضمن أنها نادرًا ما تتلاقى. والعجيب في الأمر أن هذه الظروف تشبه كثيرًا الظروف التي سادت بعد الانفجار العظيم مباشرة، عندما كان الفضاء مليئًا بجُسَيْمات منفصلة. الفرق هو أنه في الكون المبكر كانت الجُسَيْمات كثيفة جدًّا بحيث جعلتها الجاذبية تتكتل على صورة بنى مثل النجوم والكواكب، بينما في المراحل الأخيرة من عمر الكون ستكون الجُسَيْمات مشتتة على نطاق واسع وسيكون التمدّد المتسارع للفضاء شديد القسوة لدرجة أن مثل هذا التكتل سيكون مستبعدًا للغاية. إنها نسخة كونية من عبارة «من الغبار إلى الغبار»، حيث كان الغبار المبكر مهيأً للمشاركة في رقصة الإنتروبيا الثنائية، بحيث دفعته الجاذبية إلى التكتل في بنى فلكية منظمة، في حين سيقنع الغبار اللاحق، المنتشر على نطاق واسع، بالانجراف في هدوء عبر الفراغ.

يشبِّه الفيزيائيون أحيانًا هذه الحقبة المستقبلية بنهاية الزمن. لا يعني هذا أن الزمن سيتوقّف. ولكن عندما لا يوجد أي فعل يتجاوز تحرّك جُسَيْم معزول من هذه البقعة في الامتداد الفسيح للفضاء إلى تلك، فمن المعقول أن نخلص إلى أن الكون انتهى أمره بالفعل. ومع ذلك، فإن استعدادنا في هذا الفصل لتدبر فترات زمنية أطول يزيد من أهمية عمليات بعيدة الاحتمال للغاية كان من شأننا أن نستبعدها على الفور في ظروف مختلفة. وهذه الحوادث النادرة، على الرغم من صعوبة تصورها، ربما تتخلل ذلك المجهول بحيث يكون لها تبعات متباعدة لكنها بعيدة الأثر.

تفكك الفراغ

في مؤتمر صحافي عُقد في الرابع من يوليو العام 2012 في المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية (سيرن)، أعلن المتحدّث باسم المنظمة، جو إنكانديلا، اكتشاف جُسَيْم هيجز الذي طال انتظاره. كنت أشاهد البث المباشر في مركز آسبن للفيزياء في غرفة مليئة بالزملاء، وكانت الساعة نحو الثانية صباحًا. أطلق الجميع هتافات مرحة. وانتقلت الكاميرا إلى بيتر هيجز، الذي خلع نظارته ومسح عينيه. كان هيجز قد اقترح الجُسَيْم الذي يحمل اسمه قبل ما يقرب من خمسين عامًا، وحارب في نجاح المقاومة التي تواجهها الأفكار غير المألوفة أحيانًا، وانتظر عُمرًا كاملًا كي يعرف أنه على حق.

خلال نزهة طويلة في ضواحي إدنبرة، حل الشاب بيتر هيجز لغزًا كان يثير إحباط

الباحثين حول العالم. كانت الرياضيات التي تصف القوة النووية الشديدة والقوة النووية الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية، وكذلك جُسَيْمات المادة التي تؤثر عليها هذه القوى، تأخذ شكلها النهائي سريعًا. ومن خلال العمل جنبًا إلى جنب، كان الفيزيائيون النظريون والتجريبيون يضعون دليلًا ميكانيكيًّا كميًّا يوضح آليات عمل العالم المتناهي الصغر. لكن كان هناك إغفال واحد صارخ؛ إذ لم تستطع المعادلات تفسير كيفية اكتساب الجُسَيْمات الأساسية للكتلة. لماذا إذا ضغطتَ على جُسَيْمات أساسية (كالإلكترونات أو الكواركات)، ستشعر أن الجُسَيْمات تقاوم جهدك؟ تعكس هذه المقاومة كتلة الجُسَيْم، لكن بدا أن المعادلات تروي قصة مختلفة: إذ وفقًا للحسابات الرياضية، من المفترض أن تكون الجُسَيْمات عديمة الكتلة، ومن ثم لا تقدم أي مقاومة على الإطلاق. ومن نافلة القول إن عدم التوافق بين الواقع والحسابات الرياضية كان يثير جنون الفيزيائيين.

السبب الذي جعل الحسابات الرياضية تقبل في ما يبدو وجود الجُسَيْمات عديمة الكتلة فقط هو سبب فني بدرجة ما، لكنه يتعلق بالتناظر. فمثلما تبدو كرة البلياردو متماثلة عندما تديرها في هذا الاتجاه أو ذاك، فإن المعادلات التي تصف الجُسَيْمات الأساسية تبدو متماثلة عندما تستبدل ذلك الحد الرياضي بذاك. وفي كل حالة، فإن عدم الحساسية للتغيير -اتجاه كرة البلياردو وإعادة الترتيب الرياضية للمعادلات- يعكس درجة عالية من التناظر الكامن. في حالة كرة البلياردو، يضمن التناظر أنها تتدحرج في سلاسة. وفي حالة المعادلات، يضمن التناظر أن التحليل الرياضي يمضي في سلاسة. وكما أدرك باحثو فيزياء الجُسَيْمات، فمن دون التناظر ستكون المعادلات غير متّسقة، بحيث تنتج هراءً مشابهًا لنتيجة قسمة واحد على صفر. ومن هنا يأتي اللغز: فقد كشف التحليل أن نفس التناظر الرياضي الذي يضمن صحة المعادلات يتطلب أيضًا وجود جُسَيْمات عديمة الكتلة (ربما ليس هذا مستغربًا؛ نظرًا إلى أن الصفر في حد ذاته عدد عالي التناظر؛ إذ يحتفظ بقيمته عند ضربه في أي عدد آخر أو قسمته عليه).

هنا جاء إسهام هيجز؛ إذ ذهب إلى أن الجُسَيْمات عديمة الكتلة بشكل جوهري، تمامًا كما تتطلب المعادلات المتناظرة الأصلية، ومع ذلك، فعندما تظهر الجُسَيْمات في العالم الواقعي فإنها تكتسب الكتلة عن طريق تأثير البيئة المحيطة. وقد تصور هيجز أن الفضاء مليء بمادة غير مرئية، تسمى الآن مجال هيجز، وأن الجُسَيْمات التي يتم دفعها عبر المجال تتعرّض إلى قوة مقاومة تشبه إلى حد ما تلك التي تتعرّض لها كرة الويفل Wiffle، بينما تطير في الهواء. وعلى الرغم من أن كرة الويفل خفيفة الوزن للغاية، فإذا حملتها خارج نافذة سيارة متزايدة السرعة، ستشعر بمقاومة شديدة في يدك وذراعك: إذ ستشعر بأن كرة الويفل ضخمة لأنها تخترق المقاومة التي يبذلها الهواء. وبالمثل،

اقترح هيجز أنك عندما تضغط على جُسَيْم فسيبدو أنه ضخم لأنه يخترق المقاومة التي يبذلها مجال هيجز. وكلما كبر حجم الجُسَيْم زادت مقاومته للدفع، وهو ما يعني وفقًا لهيجز أن الجُسَيْم يواجه مقاومة أقوى من مجاله الذي يتغلغل في الفضاء[14].

إذا لم تكن على دراية بفكرة مجال هيجز ولكنك قرأت الفصول السابقة بجدية، ربما لا تبدو الفكرة غريبة. فقد أصبحت الفيزياء الحديثة معتادة على فكرة المواد غير المرئية التي تملأ الفضاء، وهي نسخ حديثة من مفهوم الأثير القديم. ومن مجال التضخم الذي ربما يكون قد دفع الانفجار العظيم إلى الطاقة المظلمة التي ربما تكون مسؤولة عن التمدد المتسارع المقيس الآن للكون، لم يتردد الفيزيائيون في العقود القليلة الماضية في اقتراح أن الفضاء مليء بأشياء غير مرئية. لكن في ستينيات القرن العشرين، كانت الفكرة ثورية. اقترح هيجز أنه إذا كان الفضاء خاويًا حقًّا بالمعنى التقليدي والحدسي، لما امتلكت الجُسَيْمات أي كتلة على الإطلاق. وهكذا خلص هيجز إلى أن الفضاء يجب ألّا يكون خاويًا، وأن المادة التي يحتويها يجب أن تكون مناسبة تمامًا لتزويد الجُسَيْمات بكتلتها الواضحة.

رُفِضَت الورقة الأولى التي قدّم فيها هيجز هذا المُقترَح الجديد. ويتذكّر هيجز رد الفعل: «قيل لي إنني كنت أهذي»[15]. لكن أولئك الذين درسوا الفكرة بعناية أدركوا مزاياها، واكتسبت الفكرة رواجًا ببطء. وفي النهاية، جرى تبنيها بالكامل. صادفتُ مُقترَح هيجز للمرة الأولى في مقرر للدراسات العليا في الثمانينيات، وكان يُقدَّم بكل ثقة إلى درجة أنني لم أدرك لفترة من الوقت أن المُقترَح لم يتم تأكيده تجريبيًّا بعد.

يسهل وصف استراتيجية اختبار المُقترح، لكن يصعب للغاية تنفيذها. فعندما يتصادم جُسَيْمان، بروتونان مثلًا، بسرعة عالية، من المفترض أن يسبب التصادم اهتزاز مجال هيجز المحيط. وأحيانًا، قد يؤدي هذا نظريًّا إلى تحرير جزء ضئيل من المجال، وسيظهر ذلك الجزء على شكل نوع جديد من الجُسَيْمات الأولية -جُسَيْم هيجز- ما يسميه فرانك ويلتشيك، الحائز على جائزة نوبل: «شظية من الفراغ القديم». ومن شأن رؤية هذا الجُسَيْم أن تكون دليلًا دامغًا على صحة النظرية، وهو الهدف الذي ألهم أكثر من ثلاثين عامًا من البحث، من جانب أكثر من ثلاثة آلاف عالم، من أكثر من ثلاثين دولة، باستخدام أقوى معجّل جُسَيْمات في العالم، وبتكلفة تجاوزت خمسة عشر مليار دولار. وجرت الإشارة إلى نتيجة تلك الرحلة، التي تم الإعلان عنها في ذلك المؤتمر الصحافي الذي عُقد في يوم الاستقلال الأمريكي، من خلال نتوء صغير في رسم بياني مستوٍ أنتجته البيانات التي جُمعَت في مصادم الهادرونات الكبير، وهو تأكيد تجريبي على وجود جُسَيْم هيجز.

إنه حدث رائع في سجل الاكتشاف البشري، حدثٌ يعمّق فهمنا لخصائص الجُسَيْمات ويعزز ثقتنا في قدرة الرياضيات على إماطة اللثام عن الجوانب الخفية للواقع. وتأتي أهمية مجال هيجز لرحلتنا على الخط الزمني الكوني من اعتبارٍ منفصلٍ ولكنْ ذو صلة؛ ألا وهو أنه في نقطة ما من المستقبل ربما تتغير قيمة مجال هيجز. فمثلما تتغير المقاومة التي تتعرّض لها كرة الويفل باختلاف كثافة الهواء، فإن كتل الجُسَيْمات الأساسية ستتغير مع تغير قيمة مجال هيجز الذي تواجهه. وبالنسبة إلى جميع التحولات باستثناء أصغرها، من شبه المؤكد أن يدمّر هذا التغيير الواقع كما نعرفه. إن الذرات والجزيئات والبنى التي تكوِّنها تعتمد اعتمادًا وثيقًا على خصائص مكوناتها الجُسَيْمية. فالشمس تسطع بسبب الخصائص الفيزيائية والكيميائية للهيدروجين والهيليوم، والتي تعتمد على خصائص البروتونات والنيوترونات والإلكترونات والنيوترينوات والفوتونات. وتؤدي الخلايا وظائفها على النحو المعتاد بسبب الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمكونات الجزيئية، والتي تعتمد أيضًا على خصائص الجُسَيْمات الأساسية. وإذا تغيرت كتل الجُسَيْمات الأساسية، سيتغير سلوكها، ومن ثم سيتغير كل شيء آخر تقريبًا.

أثبتت وفرة من التجارب المعملية والمشاهدات الفلكية أنه عبر جُل الـ13.8 مليار عام الماضية، إن لم يكن كلها، كانت كتل الجُسَيْمات الأساسية ثابتة، ومن ثم فإن قيمة مجال هيجز كانت مستقرة. ومع ذلك، حتى إذا وُجد احتمال ضئيل أن يكتسب مجال هيجز قيمة مختلفة في المستقبل، فسيتعاظم هذا الاحتمال حتى يصل إلى شبه يقين نتيجة الفترات الزمنية الهائلة التي نتدبّرها الآن.

إن الفيزياء المرتبطة بذلك التغير في قيمة مجال هيجز تُسمى *النفق الكمي*، وهي عملية يمكن استيعابها بشكل أفضل عن طريق النظر إليها أولًا في سياق أبسط. إذا وضعت بلية صغيرة في كأس زجاجي فارغ ستظل موجودة في الكأس كما هي إذا لم يحركها أَحد. فعلى أي حال، البلية محاطة بحواجز من جميع الجوانب وليس لديها طاقة كافية لتسلق جدران الكأس والهروب عبر الفوهة. كما أنه ليس لديها طاقة كافية لاختراق الزجاج مباشرة. وبالمثل، إذا وضعت إلكترونًا في مصيدة على شكل كأس زجاجي صغير، وأحطته بحواجز من جميع الجوانب، فمن المتوقّع أن يظل أيضًا في مكانه. في الواقع، يظل الإلكترون في مكانه معظم الوقت. لكن أحيانًا لا يحدث ذلك. وأحيانًا يختفي الإلكترون من المصيدة ويتجسّد من جديد خارجها.

على الرغم من أن هذه الحركة التي تشبه حيَل هوديني قد تكون مفاجئة بالنسبة لنا، فإنها عادية ومعتادة في ميكانيكا الكم. فباستخدام معادلة شرودنجر، يمكننا حساب احتمالية العثور على إلكترون في هذا الموقع أو ذاك، كما في داخل المصيدة الزجاجية

أو خارجها. وتُظهر الحسابات الرياضية أنه كلما كانت المصيدة أصعب في التغلب عليها -أي كلما زاد ارتفاع الجوانب وسمكها- قلّت احتمالية هروب الإلكترون. ولكن، وهذا أمر أساسي، كي يكون الاحتمال صفرًا، يجب أن تكون المصيدة عريضة بلا نهاية أو عالية بلا نهاية، وفي العالم الحقيقي لا يحدث ذلك. والاحتمال غير الصفري، مهما كان ضئيلًا، يعني أننا إذا انتظرنا فترة طويلة بما يكفي، فسيعبر الإلكترون، عاجلًا أو آجلًا، إلى الجانب الآخر. تؤكد المشاهدات ذلك. وهذا العبور عبر حاجز هو ما نعنيه بـ«النفق الكمّي».

لقد وصفتُ النفق الكمّي من منظور جُسَيْم يخترق حاجزًا، بحيث يتغيّر موقعه من هنا إلى هناك، ولكن من الممكن أيضًا أن يشمل مجالًا يخترق حاجزًا، بحيث تتغير قيمته من قيمة معينة إلى أخرى. وهذه العملية، التي تنطوي على مجال هيجز، ربما تحدّد مصير الكون على المدى الطويل.

بالوحدات التي يستخدمها الفيزيائيون تقليديًّا، تبلغ القيمة الحالية لمجال هيجز 246[16]. لماذا 246؟ لا أحد يعلم. غير أن المقاومة التي يحشدها مجال هيجز بهذه القيمة (بالترافق مع الكيفية الدقيقة التي يتفاعل بها كل جُسَيْم) تفسّر على نحو تام كتل الجُسَيْمات الأساسية. لكن لماذا ظلّت قيمة مجال هيجز مستقرّة لمليارات الأعوام؟ الجواب، في اعتقادنا، هو أن قيمة مجال هيجز، مثل البلية داخل الكأس الزجاجي أو الإلكترون داخل المصيدة، محاطة من جميع الجوانب بحواجز هائلة: وإذا حاول مجال هيجز الهجرة من القيمة 246 إلى قيمة أكبر أو أصغر، فإن الحاجز سيعيده بقوّة إلى قيمته الأصلية، تمامًا كما ستعود البلية إلى مكانها في قاع الكأس إذا قام شخص ما بهز الكأس الزجاجي للحظات. ولولا الاعتبارات الكمية، لظلّت قيمة مجال هيجز عند الرقم 246 بصورة دائمة. ولكن كما اكتشف سيدني كولمان في منتصف السبعينيات، فإن النفق الكمي يغير القصّة[17].

ومثلما تسمح ميكانيكا الكم للإلكترون من حين لآخر بالخروج عبر تأثير النفق الكمي من المصيدة، فإنها تسمح أيضًا لقيمة مجال هيجز بعبور الحاجز. وإذا حدث هذا، فلن يغير مجال هيجز قيمته عبر كل الفضاء على نحو متزامن. بدلًا من ذلك، سيتغير مجال هيجز في بعض المناطق الصغيرة التي تميزها الطبيعة العشوائية للحوادث الكمية، وينتقل عبر الحاجز إلى قيمة مختلفة. بعد ذلك، ومثلما تهبط البلية التي تخترق الكأس الزجاجية إلى ارتفاع أقل، ستنخفض قيمة مجال هيجز إلى طاقة أقل. حينئذٍ، سيؤدي إغراء الطاقة المنخفضة إلى حَثّ مجال هيجز في المواقع القريبة على إجراء الانتقال أيضًا، وهو تأثير يشبه تساقط قطع الدومينو من شأنه أن يُنتج كرة متنامية باستمرار تتغير داخلها قيمة مجال هيجز.

داخل هذه الكرة، ستؤدي قيمة مجال هيجز الجديدة إلى تغيير كتل الجُسَيْمات، وهكذا فإن السمات المألوفة للفيزياء والكيمياء والبيولوجيا لن تظل كما هي بعد الآن. خارج الكرة، حيث لم تتغير قيمة مجال هيجز بعد، ستحتفظ الجُسَيْمات بخصائصها المعتادة، وهكذا سيبدو كل شيء طبيعيًّا. وكشف تحليل كولمان أن حدود الكرة، التي تميز الانتقال من قيمة هيجز القديمة إلى القيمة الجديدة، ستنتشر إلى الخارج بسرعة تقارب سرعة الضوء[18]. وهذا يعني أنه بالنسبة لأولئك الموجودين منا في الخارج سيكون من المستحيل فعليًّا رؤية جدار الهَوْل يقترب. وحين نراه، سيكون قد وصل إلينا بالفعل. وفي لحظة ما ستكون الحياة كالمعتاد، وفي اللحظة التالية سينتهي أمرنا تمامًا. هل من الممكن أن تظهر بنى جديدة، وربما أشكال جديدة من الحياة، في نهاية المطاف في هذا العالم المأهول بجُسَيْمات ذات خصائص غير مألوفة؟ هذا أمر جائز. غير أن هذه الأسئلة تقع حاليًّا وراء قدرتنا على الإجابة.

ليس بمقدور الفيزيائيين تحديد متى يمكن أن يقوم مجال هيجز بمثل هذه القفزة. ويعتمد النطاق الزمني على خصائص للقوى والجُسَيْمات لم يتم تحديدها بعد بدقة كافية. علاوة على ذلك، بما أن هذه العملية كَمّية، ليس من الممكن توقعها إلّا على صورة احتمالات. وتشير البيانات الحالية إلى أنه من المحتمل أن ينتقل مجال هيجز إلى قيمة مختلفة في وقت ما بين (10^{102}) و(10^{359}) عام من الآن؛ أي في موضع ما بين الطابقين 102 و359 (وهو نطاق من شأنه أن يتحدى برج خليفة ذاته)[19].

نظرًا إلى أن مجال هيجز يعيد تعريف ما نعنيه بالخواء -الفضاء الأشد خواءً في الكون القابل للرصد يحتوي على مجال هيجز بقيمة 246- يكشف النفق الكمّي لقيمة مجال هيجز عن عدم استقرار الفضاء الخاوي نفسه. فإذا انتظرنا فترة كافية، سيتغير الفضاء الخاوي نفسه. وفي حين أن النطاق الزمني لمثل هذا التغير، هذا التفكك، لا يعطينا سببًا كبيرًا للقلق، لاحظ أن هناك احتمالًا لحدوث تأثير النفق الكمّي اليوم، أو غدًا. هذا هو عبء العيش في عالم كمّي تكون الحوادث المستقبلية فيه واقعة تحت رحمة الاحتمالات. وتمامًا مثلما يمكنك أن تُسقِط بضع مئات من البنسات وتهبط جميعها على وجه الصورة -وهو أمر ممكن ولكنه مستبعد- فربما نكون على وشك الاصطدام بجدار مجال هيجز المتغير الذي سيخلف وراءه نسخة مختلفة من الفضاء الخاوي. وهذا أمر ممكن، لكنه مستبعد أيضًا.

إن الضآلة الشديدة لهذه الاحتمالية تبدو أمرًا جيدًا. فغالبنا يفضّل ألّا يسحقه جدار مهلِك يتحرك بسرعة خاطفة، حتى إذا كان الهلاك سريعًا وغير مؤلم. ومع ذلك، عندما نولي أبصارنا صوب نطاقات زمنية أطول، سنواجه عمليات كمّية لا تتصف بالغرابة

وحسب، بل لديها القدرة على تقويض كل شيء نؤمن أنه حقيقي بشأن الواقع. وردًّا على ذلك، صار بعض الفيزيائيين مولعين بالنظريات التي سينتهي فيها الكون قبل أن نضطر إلى مواجهة الانهيار الداخلي للتفكير العقلاني نفسه.

أدمغة بولتزمان

خلال ارتقائنا الخط الزمني، شهدنا تأثير القانون الثاني للديناميكا الحرارية. وبدايةً من الانفجار العظيم وتشكّل النجوم، وبزوغ الحياة، وعمليات العقل، ونضوب المجرات، ووصولًا إلى تفكك الثقوب السوداء، كانت الإنتروبيا تزداد من دون هوادة. وهذا النمو المتّسق من الممكن أن يحجب حقيقة أن ما يمليه القانون الثاني يتصف بالاحتمالية. فمن الممكن أن تنخفض الإنتروبيا. ومن الممكن لجزيئات الهواء المنتشرة حاليًّا في جميع أنحاء غرفتك أن تتجمّع في وقت واحد بحيث تشكّل كرةً تحوم قرب السقف، مما يجعلك تجاهد من أجل التقاط أنفاسك. هذا أمر مستبعد للغاية، والإطار الزمني لحدوثه ضخم جدًّا، وهذا يجعلنا نقر بالاحتمالية لكننا نواصل حياتنا من دون تأثر. ومع ذلك، بما أننا نلقي الآن نظرة طويلة الأمد، فلنتخلّص من ضيق الأفق الزمني ونتدبر بعض الاحتمالات المذهلة المتعلّقة بانخفاض الإنتروبيا.

تخيَّل أنك كنت تقرأ هذا الكتاب على مدار الساعة الماضية، جالسًا على مقعدك المفضَّل، وبين الحين والآخر تحتسي الشاي من كوبك المفضل. إذا سُئلت عن كيفية ظهور هذا الترتيب المريح، ستقول إنك اشتريت الكوب في نيومكسيكو من متجر خزف محلي، وإنك ورثت المقعد من جدتك لوالدك، وإنك دائمًا ما كنت مهتمًا بأمور الكون، وهو ما قادك إلى هذا الكتاب. وإذا طُلب منك تقديم المزيد من التفاصيل، فستتحدّث عن نشأتك وعن أشقائك وعن والديك، وما إلى ذلك. وإذا طُلب منك العودة بالزمن أكثر إلى الوراء وتقديم سرد أوفى، فقد تتحدّث في النهاية عن المادة نفسها التي غطيناها في الفصول السابقة.

كل هذا قائم على حقيقة غريبة؛ وهي أن كل ما تعرفه يعكس الأفكار، والذكريات، والأحاسيس الموجودة حاليًّا في دماغك. لقد مضى وقت طويل على شراء الكوب، وما تبقى هو ترتيب للجُسَيْمات داخل رأسك يحتفظ بالذاكرة. وينطبق الشيء نفسه على ذكرياتك عن وراثة مقعد جدتك، والشغف بالكون، والقراءة عن المفاهيم المختلفة في هذا الكتاب. من منظور فيزيائي صارم، كل هذا موجود في رأسك الآن بسبب ترتيب الجُسَيْمات الخاص الموجود في رأسك الآن. وهذا يعني أنه إذا اكتسب تيار عشوائي من الجُسَيْمات يتدفق عبر فراغ كون عديم البنية ومرتفع الإنتروبيا، بمحض الصدفة، ترتيبًا منخفض الإنتروبيا يتصادف أنه يطابق الجُسَيْمات التي تشكل دماغك حاليًّا، فإن

هذه المجموعة من الجُسَيْمات سيكون لها نفس الذكريات والأفكار والأحاسيس التي لديك. لا أدري إن كان لنا أن نعتبر هذا تكريمًا أم توبيخًا، غير أن هذه الأدمغة الافتراضية الهائمة غير المقيّدة التي تتشكّل عن طريق التجمع العفوي، النادر ولكن المحتمل، للجُسَيْمات في ترتيب خاص عالي التنظيم، أصبحت تُعرَف باسم *أدمغة بولتزمان*[20].

لن يفكر دماغ بولتزمان، الوحيد في الظلام القارس للفضاء، في كثير من الأفكار قبل أن يفنى. ومع ذلك، فإن التجمّع العفوي للجُسَيْمات من الممكن أن تنتج عنه أيضًا ملحقات من شأنها أن تطيل من عمله: مسكن للرأس والجسم، وإمداد للغذاء والماء، ونجم وكوكب مناسبان، وذلك على سبيل المثال لا الحصر. وفي الواقع، يمكن للتجمّع التلقائي للجُسَيْمات (والمجالات) أن ينتج الكون الكامل الذي نراه اليوم أو يعيد خلق الظروف التي أدت إلى الانفجار العظيم، بحيث يسمح بظهور كون يشبه كوننا إلى حد كبير[21]. لا مفر من الإقرار بأنه عندما يتعلق الأمر بانخفاض تلقائي في الإنتروبيا، فإن الاحتمالات الطاغية تكون في صالح الانخفاضات الأصغر: أي عدد أقل من الجُسَيْمات يتجمّع في بنى أكثر تحملًا للترتيبات غير الدقيقة. وبكلمة طاغية أعني *طاغية* بحق. أي احتمالات أعلى بقيم أسّيّة. وبما أننا معنيون خصيصًا بالمستقبل البعيد للتفكير، فإن دماغ بولتزمان المنعزل هو التكوين العشوائي الأدنى، ومن ثم الأرجح، للجُسَيْمات الذي يمكن أن يتفكر لفترة وجيزة، وبالتالي يتساءل عن كيفية مجيئه إلى العالم[22].

ما يجعل هذا أكثر من محض بداية لإحدى حبكات الخيال العلمي من الدرجة الثانية هو أننا عندما نتطلع إلى المستقبل البعيد، تبدو الظروف مهيأة لحدوث هذه العمليات العجيبة. يتمثّل أحد المكونات الأساسية في التمدد المتسارع للفضاء. وقد ذكرنا مسبقًا أن هذا التمدد سينتج عنه أفق كوني؛ كرة محيطة بعيدة تعيِّن الحد الذي تنحسر بعده الأجسام عنا بسرعة تفوق سرعة الضوء، وهو ما يمنع أي اتصال أو تأثير محتمل. ومثلما أوضح هوكينغ أن ميكانيكا الكم تقضي ضمنًا بأن أفق الثقب الأسود له درجة حرارة وينبعث منه إشعاع، فقد استخدم هوكينغ ومعاونه جاري جيبونز تفكيرًا مشابهًا لإظهار أن الأفق الكوني له درجة حرارة وينبعث منه إشعاع أيضًا. إن تحليلنا الذي ركز، في الفصل السابق، على مستقبل التفكير اعتمد على هذه الحقيقة تحديدًا، وخلص إلى أن درجة الحرارة الطفيفة لأفقنا الكوني، البالغة نحو 10^{-30} درجة كلفينية، ربما تكون كافية لجعل الكائنات المفكرة المستقبلية، التي تحاول مواصلة التفكير إلى أجل غير مسمى، تحترق في نهاية المطاف في أفكارها. وكما سنرى الآن، عبر فترات زمنية أطول كثيرًا، تقدم اعتبارات مشابهة إمكانية مثيرة للاهتمام لإحياء مستقبل التفكير.

في المستقبل البعيد، سيوفر الإشعاع المنبعث من الأفق الكوني مصدرًا خافتًا، ولكنْ

ثابتٌ، للجُسَيْمات (في الغالب، جُسَيْمات عديمة الكتلة وفوتونات وغرافيتونات) التي ستهيم عبر منطقة الفضاء التي يحيط بها الأفق. في بعض الأحيان، ستتصادم مجموعات من هذه الجُسَيْمات، ومن خلال المعادلة «الطاقة تساوي الكتلة مضروبة في مربع سرعة الضوء»، تحول طاقتها الحركية إلى إنتاج عدد أصغر من الجُسَيْمات الضخمة كالإلكترونات والكواركات والبروتونات والنيوترونات والجُسَيْمات المضادة لها. ومن خلال إنتاج عدد أقل من الجُسَيْمات وحركة أقل، تخفض هذه العمليات من الإنتروبيا، وإذا انتظرنا طويلًا بما يكفي فستحدث أشياء بعيدة الاحتمال تمامًا. وستواصل الحدوث. وفي حالات أندر، فإن بعض البروتونات والنيوترونات والإلكترونات التي أُنتجَت بهذه الطريقة ستتحرك بالصورة المناسبة تمامًا بحيث تتحد مكوِّنةً هذا النوع الذري أو ذاك. وتفسر الفترة الزمنية الهائلة المطلوبة لمثل هذه العمليات النادرة سبب عدم وجود صلة لها بتركيب النوى الذرية بعد الانفجار العظيم أو داخل النجوم، ولكن الآن، عندما نتحدث عن نطاقات زمنية غير محدودة، فإن مثل هذه العمليات تكون مهمة وذات صلة. وعلى مدى فترة زمنية أطول، ستتحد الذرات بشكل عشوائي بحيث تشكل تكوينات أكثر تعقيدًا، مما يضمن أنه بين الحين والآخر على الطريق نحو الخلود ستندمج مجموعة منها مكونةً هذه البنية العيانية أو تلك؛ من الدمى إلى السيارة البنتلي. وفي غياب كائنات مفكرة، ستظهر هذه البنى وتختفي من دون أن يلحظها أحد. لكن من حين إلى آخر ستكون البنية العيانية المُشكّلة عشوائيًا عبارة عن دماغ. وبعد أن ينقرض التفكير لفترة زمنية طويلة، فإنه سيعود بشكل خاطف.

ما الإطار الزمني لمثل هذه العودة؟ باستخدام حسابات تقريبية (يمكن لمحبي الرياضيات العثور عليها في التعليقات الختامية[23])، يمكننا تقدير أن هناك فرصة معقولة لتشكُّل دماغ بولتزمان في غضون $(10^{10})^{68}$ عامًا. هذا زمن طويل. وفي حين يمكننا كتابة المدة الزمنية التي تمثلها قمة مبنى الإمباير ستايت، وهي 10^{102} عام، عن طريق كتابة العدد 1 متبوعًا بـ 102 أصفار، وهو ما سيشغل سطرًا ونصف السطر تقريبًا، فمن أجل كتابة العدد- وهو 1 متبوعًا بـ $(10^{10})^{68}$ صفرًا - يمكننا استبدال كل حرف في كل صفحة من كل كتاب طُبع على الإطلاق من دون أن نحدث أي تأثير. ومع ذلك فلا أعني أنه سيوجد شخص ما حينذاك، ينظر إلى ساعته، في انتظار انخفاض الإنتروبيا كي يتحرك وينتج دماغًا. فبإمكان الكون أن يستمر إلى الأبد تقريبًا في حالة من الفوضى والاضطراب والإنتروبيا العالية، ولن يشكو أحد.

وهذا يثير سؤالًا يهمني بصورة شخصية. من أين أتى دماغك؟ يبدو السؤال سخيفًا، لكن دعني أوضح ما أعنيه. عند الإجابة، من الطبيعي أن تتبع ذكرياتك ومعرفتك كي

توضح أنك تمتلك دماغك منذ مولدك، وأن مجيئك إلى الحياة هو جزء من تسلسل يمكننا تتبعه عبر أسلافك، وعبر السجل التطوري للحياة، وعبر تشكيل الأرض والشمس وما إلى ذلك، وصولًا إلى الانفجار العظيم. تبدو الإجابة منطقية في ظاهرها. وسيقدم معظمنا نسخة من الرد نفسه. ولكن كما أوضحت الفصول السابقة، فإن النافذة الزمنية التي يمكن خلالها للأدمغة أن تتشكل بالطريقة التي سردتها محدودة؛ إذ لا تزيد على الحيِّز الواقع بين الطابقين العاشر والأربعين من مبنى الإمباير ستايت. أما النافذة الزمنية لتشكل الأدمغة وفق افتراض بولتزمان فهي أطول بصورة منقطعة النظير؛ بل ويمكن اعتبارها غير محدودة[24]. فمع تقدّم الزمن، ستواصل أدمغة بولتزمان التشكل، وهو أمر مؤكد رغم ندرته، ومن ثم فإن العدد الإجمالي لهذه الأدمغة التي تظهر وتختفي سيزداد بصورة متعاظمة. وبذا من شأن مسح لامتداد طويل بما يكفي من الخط الزمني أن يكشف أن إجمالي عدد أدمغة بولتزمان يتجاوز بكثير عدد الأدمغة التقليدية. وينطبق الشيء نفسه حتى إذا ركزنا فقط على أدمغة بولتزمان التي تعطي انطباعًا خاطئًا مفاده أنها نشأت بالطريقة البيولوجية المنطقية التقليدية. ومجددًا نقول، مهما كانت العملية نادرة، فستحدث على نحو اعتباطي عبر فترات زمنية طويلة للغاية.

إذا سألت نفسك بعد ذلك عن الطريقة الأكثر ترجيحًا التي اكتسبت بها المعتقدات والذكريات والمعرفة والفهم الذي تعتنقه حاليًا، فإن الإجابة النزيهة المبنية على العدد وحده ستكون واضحة: فقد تشكَّل دماغك تلقائيًا من جُسَيْمات في الفراغ، بكل ذكرياته وسماته النفسية العصبية الأخرى المطبوعة من خلال التكوين الخاص للجُسَيْمات. والقصة التي روَيتها عن الكيفية التي ظهرت بها إلى الوجود قصة مؤثِّرة، لكنها خاطئة. فذكرياتك وسلاسل التفكير المختلفة التي أدّت إلى معرفتك ومعتقداتك كلها خيالية. فليس لديك ماضٍ. وقد ظهرت للتوّ كدماغ عديم الجسد يمتلك أفكارًا وذكريات لأشياء لم تحدث قط[25].

إلى جانب الغرابة التامة التي يتسم بها هذا السيناريو، فإن له نتيجة مدمرة، وهذا هو السبب الذي دعاني إلى التركيز على الأدمغة المتكوِّنة تلقائيًا وليس على الأشياء الوفيرة العدد الأخرى التي يمكن أن تشكّلها الجُسَيْمات المتّحدة بشكل عشوائي أيضًا. إذا كان الدماغ، دماغك أو دماغي أو دماغ أي شخص، لا يستطيع الوثوق في أن ذكرياته ومعتقداته هي انعكاس دقيق لحوادث وقعت بالفعل، فلا يمكن لأي دماغ أن يثق في القياسات والمشاهدات والحسابات المفترضة التي تشكّل أساس الفهم العلمي[26]. إن لدي ذكريات حول تعلّم النسبية العامة وميكانيكا الكم، ويمكنني التفكير في سلسلة أفكار منطقية تدعم هاتين النظريتين، ويمكنني أن أتذكر النظر إلى البيانات والمشاهدات

التي تفسّرها هاتان النظريتان على نحو مثير للإعجاب، وهكذا دواليك. لكن إذا كنتُ عاجزًا عن الوثوق في أن هذه الأفكار قد طُبعت في ذهني بواسطة الحوادث الفعلية التي أنسبها إليها، فلا يمكنني أن أثق في أن النظريات تزيد على كونها محض تصورات ذهنية، ومن ثم لا يمكنني الوثوق بأي استنتاجات تشير إليها النظريات. وبالنسبة إلى الكائن الحي العاقل، من بين هذه الاستنتاجات، التي أصبحت الآن غير جديرة بالثقة، احتمال أن أكون دماغًا تشكّل تلقائيًا يطفو في الفراغ. إن التشكك العميق الذي يظهر من إمكانية تشكل الدماغ بصورة تلقائية يدفعنا إلى الارتياب في التفكير المنطقي ذاته الذي قادنا إلى هذا الاحتمال في المقام الأول.

باختصار، من الممكن أن تؤدّي الانخفاضات النادرة العشوائية في الإنتروبيا، التي تنص عليها قوانين الفيزياء، إلى زعزعة ثقتنا بالقوانين نفسها وكل ما يفترض بها أن تنص عليه. ومن خلال النظر إلى القوانين التي تعمل عبر فترات زمنية طويلة للغاية، فإننا نغوص في كابوس متشكّك، يقوّض ثقتنا في كل شيء. وليس هذا بالأمر المحبب. كيف إذن يمكننا استعادة الثقة في أسس التفكير العقلاني التي سهّلت صعودنا النشط لمبنى الإمباير ستايت وما بعده؟ في هذا الصدد، طوّر الفيزيائيون عددًا من الاستراتيجيات.

يرى البعض أن أدمغة بولتزمان تثير لغطًا كثيرًا دون أساس ملموس. لا ريب أن هذا المنظور يقر بأن أدمغة بولتزمان يمكن أن تتشكل. لكن هوّن عليك، فبالتأكيد أنت لست واحدًا منها. وإليك كيفية إثبات ذلك: انظر إلى العالم من حولك واستوعب كل ما تراه. إذا كنت أحد أدمغة بولتزمان، فثمة احتمال طاغ بأنك لن تكون موجودًا بعد لحظة. إن الدماغ القادر على الاستمرار لفترة أطول هو جزء من نظام دعم أكبر وأكثر تنظيمًا، ومن ثم يتطلب قدرًا أقل وأقل من الإنتروبيا، مما يجعل تشكيله أمرًا بعيد الاحتمال. لذا، إذا بدت نظرتك الثانية إلى العالم شبيهة بدرجة كبيرة بنظرتك الأولى، فإن ثقتك في أنك لست أحد أدمغة بولتزمان تزداد. وفي الواقع، وفقًا لهذا المنظور فإن كل لحظة تالية مشابهة تجعل حجتك أقوى وثقتك أكبر.

ومع ذلك، لاحظ أن هذه الحجة تفترض أن كل لحظة في مثل هذا التسلسل حقيقية بالمعنى المتعارف عليه. فإذا كان لديك الآن ذكرى عن النظر إلى العالم عشرات المرات خلال الدقيقة الماضية، بحيث تطمئن نفسك مرارًا وتكرارًا أنك لست أحد أدمغة بولتزمان، فإن تلك الذاكرة تعكس حالة دماغك الآن ومن ثم فهي متفقة مع افتراض أن دماغك جرى تشغيله الآن وحسب، وأن هذه الذكريات ذاتها مطبوعة فيه. وإذا مددت هذا الخط على استقامته، ستدرك أن المشاهدات التجريبية التي استخدمتها للقول بأنك لست أحد أدمغة بولتزمان ربما تكون نفسها جزءًا من الخيال. فربما تكون

لديّ ذكريات أقول فيها لنفسي: «أنا أفكر، إذن أنا موجود»، ولكن بالنظر إليها من أي لحظة بعينها، فإن الوصف الدقيق يتطلّب مني أن أقول بدلًا من ذلك: «أعتقد بأنني أفكر، إذن أعتقد أنني موجود». وفي الواقع، لا تضمن ذكرى مثل هذه الأفكار أن الأفكار قد حدثت على الإطلاق.

ثمة نهج أكثر إقناعا يتمثل في تحدي السيناريو الأساسي نفسه: إذ تقوم حجة بولتزمان على وجود أفق كوني بعيد يشع باستمرار الجُسَيْمات والمواد الخام لبناء البنى المعقّدة، بما في ذلك الأدمغة. على المدى الطويل، إذا تبدّدت الطاقة المظلمة التي تملأ الفضاء تمامًا، عندئذٍ فإن التمدّد المتسارع سينتهي وينتهي معه الأفق الكوني. ومن دون سطح بعيد محيط يشع الجُسَيْمات، فإن درجة حرارة الفضاء ستقترب من الصفر، ويقترب معها احتمال تكوين بنى عيانية من الصفر أيضًا. لا يوجد حتى الآن أي دليل على أن الطاقة المظلمة تصير أضعف (أو أقوى) بمرور الوقت، غير أن بعثات الرصد المستقبلية ستدرس الاحتمال بدقة أكبر. والتقييم المتحفّظ هو أن الأمر غير محسوم بعد[27].

وثمة نُهُج أكثر ثورية تذهب إلى أن الكون، أو على الأقل الكون كما نعرفه، لن يوجد ببساطة في المستقبل البعيد. وفي غياب الفترات الزمنية الطويلة للغاية التي كنا نأخذها بالاعتبار، فإن احتمال تكوُّن أدمغة بولتزمان تصير شديدة الضآلة بحيث يمكننا تجاهل العملية بالكامل بأمان. وإذا كان الكون سينتهي قبل فترة طويلة من النطاق الزمني الذي من شأنه أن يجعل إنتاج أدمغة بولتزمان أمرًا محتملًا، فيمكننا تنحية شكوكنا جانبًا وأن نعود إلى وصفنا السابق لأصل أدمغتنا وتطورها، بما في ذلك ذاكرتنا ومعرفتنا ومعتقداتنا[28].

كيف يمكن لهذه النهاية السريعة للكون أن تحدث؟

هل النهاية قريبة؟

تدبرنا، في موضع سابق، إمكانية أن يأخذ مجال هيجز قفزة نوعية إلى قيمة جديدة، مما يؤدي إلى تغير مفاجئ في خصائص الجُسَيْمات من شأنه إعادة كتابة العديد من العمليات الأساسية للفيزياء والكيمياء والبيولوجيا. سيستمر الكون، لكن من شبه المؤكد أنه سيستمر دوننا. وإذا حدث هذا التفكك قبل زمن طويل من النطاقات الزمنية اللازمة لتشكُّل أدمغة بولتزمان -كما تشير البيانات المتعلقة بمجال هيجز حاليًا- فإن الأدمغة العادية ستهيمن على الوجود، وسنتحاشى الوقوع في مستنقع التشكك[29].

ثمة مصير مؤكد بدرجة أكبر سيتحقّق نتيجة قفزة كمية تتغير فيها قيمة الطاقة المظلمة فجأة. في الوقت الحالي، يُدفَع التمدّد المتسارع للكون بواسطة طاقة مظلمة موجبة

تتخلل كل منطقة من الفضاء. ولكن مثلما تنتج الطاقة المظلمة الموجبة جاذبيةً طاردة دافعة إلى الخارج، فإن الطاقة المظلمة السالبة ستنتج جاذبيةً تسحب إلى الداخل. ومن ثم فإن حدث النفق الكمّي الذي قفزت فيه الطاقة المظلمة إلى قيمة سالبة من شأنه أن يعد علامة لبداية الانتقال من تضخّم الكون نحو الخارج إلى الانهيار نحو الداخل. ومن شأن هذا التغير المفاجئ أن يؤدّي إلى ضغط كل شيء -المادة، والطاقة، والمكان، والزمن- إلى كثافة ودرجة حرارة استثنائية، وهو نوع من الانفجار العظيم المعاكس يسميه الفيزيائيون *الانسحاق العظيم*[30]. ومثلما يكتنف الغموض ما حدث عند الزمن صفر، وما سبب الانفجار، يكتنف الغموض ما سيحدث في اللحظة الأخيرة، لحظة الانسحاق نفسها. لكن الأمر الواضح هو أنه إذا حدث الانسحاق في وقت أقل بكثير من ($10^{10^{68}}$) عام، فإن التبعات العجيبة لأدمغة بولتزمان ستصبح مجددًا محل شك.

في نهج أخير مثير للاهتمام يتجاوز اعتبارات أدمغة بولتزمان، يتصوّر الفيزيائي بول شتاينهاردت ومعاوناه نيل توروك وآنا إيجاس استغلال هذا الانسحاق المحتمل للكون في ارتداد أكثر مدعاة للتفاؤل ينتج كونًا جديدًا[31]. ووفقًا لهذه النظرية، فإن مناطق الفضاء مثل منطقتنا تمر بمراحل تمدّد يتبعها انكماش، وتتكرر الدورات إلى أجل غير مسمى. وهكذا يصبح الانفجار العظيم بمنزلة ارتداد عظيم؛ ارتداد من فترة الانكماش السابقة. الفكرة نفسها ليست جديدة تمامًا. فبعد وقت قصير من إكمال أينشتاين للنظرية النسبية العامة، اقترح ألكسندر فريدمان نسخة دورية من علم الكونيات، والتي طوَّرها ريتشارد تولمان بعد ذلك[32]. كان هدف تولمان، تحديدًا، هو تفادي التساؤل عن كيفية بدء الكون. فإذا كانت الدورات تمتد إلى ما لا نهاية في الماضي، فلن تكون هناك بداية. فالكون كان موجودًا على الدوام. ومع ذلك فقد وجد تولمان أن القانون الثاني للديناميكا الحرارية يحبط هذه الرؤية؛ إذ يشير التراكم المستمر للإنتروبيا من دورة إلى أخرى إلى أن الكون الذي نسكنه حاليًا لا يمكن أن يكون مسبوقًا إلّا بعدد محدود من الدورات، وهو ما يستدعي وجود بداية على أي حال. وفي نسختهم الجديدة من النهج الدَوْري، يقول شتاينهاردت وإيجاس إنهما قادران على التغلب على هذه المشكلة. وقد أثبتا أنه خلال كل دورة، تتمدّد منطقة معينة من الفضاء أكثر بكثير مما تنكمش، مما يضمن تخفيف الإنتروبيا التي تحتويها بالكامل. ودورة تلو الأخرى، تزداد الإنتروبيا الإجمالية عبر الفضاء كله، وهو ما يتفق مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية. ولكن في أي منطقة محدودة بعينها، مثل تلك التي أدت إلى ظهور عالمنا القابل للرصد، لم يعد التراكم الحتمي الذي أحبط تولمان مصدر قلق. فالتمدد يبدد كل صور المادة والإشعاع، بينما يسخّر الانكماش اللاحق قوة الجاذبية لتوفير ما يكفي من الطاقة العالية

الجودة لبدء الدورة من جديد. وتتحدد مدة كل دورة بناءً على قيمة الطاقة المظلمة، ووفق قياسات اليوم تبلغ هذه المدة نحو مئات المليارات من الأعوام. وبما أن هذا أقل بكثير من الوقت اللازم لتكوُّن أدمغة بولتزمان، فإن علم الكونيات الدوري يوفر حلًا محتمَلًا آخر للحفاظ على العقل. وفي حين أنه سيكون هناك متسع من الوقت خلال أي دورة لإنتاج الأدمغة بالطريقة العادية، فإن الدورة ستنتهي قبل وقت طويل من إنتاج الأدمغة بحسب تصور بولتزمان. وهكذا يمكننا جميعًا أن نعلن، متحلّين بقدر معقول من الثقة، أن ذكرياتنا قد أرستها حوادث وقعت بالفعل.

بالنظر إلى المستقبل، يقترح النهج الدوري أن صعودنا مبنى الإمباير ستايت سينتهي بغتة في موضع ما في الطابق الحادي عشر أو الثاني عشر، عندما تؤدّي مرحلة انكماش الفضاء إلى ارتداد يُنهي دورتنا ويدشن الدورة التالية عليها. وستكون هناك حاجة إلى الاستعاضة عن التصور الخطي لاستعارة ناطحة السحاب بشكل حلزوني (يتبادر إلى الذهن نسخة شاهقة الارتفاع من متحف جوجنهايم)، بحيث تمثل كل لفة دورة كونية. علاوة على ذلك، بما أن الدورات قد تستمر إلى أجل غير مسمى في الماضي وكذلك في المستقبل، فسنحتاج إلى تصور البناء وهو يمتد إلى ما لا نهاية في كلا الاتجاهين. وسيكون الواقع كما نعرفه جزءًا من لفَّة واحدة حول المضمار الكوني.

في الأعوام الأخيرة، ظهر علم الكونيات الدَوْري كمنافس رئيسي للنظرية التضخمية. وعلى الرغم من أن كلاهما قادر على تفسير المشاهدات الكونية، بما في ذلك التفاوتات البالغة الأهمية في درجات حرارة إشعاع الخلفية الميكروني الكوني، إلّا أن النظرية التضخّمية تواصل الهيمنة على البحوث الكونية. ويعكس هذا جزئيًا المعركة الشاقة المتمثّلة في إثارة اهتمام علماء الفيزياء ببديل لنظرية رفعت علم الكونيات على مدار أربعة عقود إلى مصاف العلم الناضج والدقيق. وتُعزى تسمية عصرنا بالعصر الذهبي لعلم الكونيات إلى حد كبير إلى النظرية التضخمية. بطبيعة الحال لا تتحدّد الحقيقة في العلم من جانب استطلاعات الرأي أو الشعبية، بل تتحدّد من خلال التجارب والمشاهدات والأدلة. وتنتج النظريتان التضخمية والدورية تنبؤًا رصديًا مختلفًا بشكل كبير، وربما يمثل ذات يوم الفيصل بينهما، ومفاده أن من شأن دفعة التمدد التضخّمي التي وقعت عند الانفجار العظيم أن تكون قد شوّهت نسيج الفضاء بشدة إلى درجة أن موجات الجاذبية الناتجة عن ذلك ربما لا تزال قابلة للرصد. وفي المقابل ينتج التمدد اللطيف للنموذج الدوري موجات جاذبية هادئة للغاية بحيث يتعذّر رصدها. وفي المستقبل غير البعيد، ربما تمتلك المشاهدات القدرة على قلب التوازن بين نهجَيْ علم الكونيات هذَيْن[33].

لا يزال التضخم هو النظرية الكونية الأهم في نظر الباحثين، ولهذا ركزنا عليه في الفصول الأولى. ومع ذلك، يظل من المثير أن نتخيل وجود مشاهدات مستقبلية تعمّق معرفتنا بالكون وتجعل عصرنا واحدًا من لحظات عديدة، ربما لا حصر لها، من الفهم المنقوص. وبينما من شأن هذا أن يؤثّر على مناقشتنا للمراحل الأولى من عمر الكون وكذلك تطوّره فيما وراء الطابق الثاني عشر أو نحو ذلك، فإن الاعتبارات الأساسية للإنتروبيا والتطوّر التي وجّهتنا خلال الجزء الأكبر من رحلتنا ستستمر كما هي. والأشد تأثيرًا من كل ذلك، إذا تأكّدت النظرية الدورية، فسوف نتعلم أن الأنماط الأكثر انتشارًا -الولادة، والموت، والولادة من جديد- يجري تلخيصها على مقاييس كَونية. إنه نموذجٍ جذّاب. وقد تخيل المفكرون القدماء، من الهندوس والمصريين والبابليين، أنه بدلًا من وجود بداية ووسط ونهاية، فإن الكون يمر بسلسلة من الدورات المتشابكة، مثل تتابع الأيام أو المواسم. وفي المستقبل غير البعيد، قد تكشف البيانات التي تجمعها مراصد موجات الجاذبية عما إذا كان الكون يتبنى هذا النمط أم لا[34].

التفكير والكون المتعدد

هل ستصل رحلة ذات سرعة هائلة في أعماق الفضاء إلى نهايتها؟ هل من الممكن أن تستمر إلى الأبد؟ أم ربما تدور حول نفسها في رحلة ماجلان الكونية؟ لا أحد يدري. داخل النظرية التضخّمية، تشير الصيغ الرياضية التي دُرسَت بأكبر قدر من التمعن إلى أن الفضاء لا نهاية له، وهو ما يفسر جزئيًا سبب إيلاء الباحثين جُل الاهتمام لهذا الاحتمال. وبالنسبة إلى المستقبل البعيد للتفكير، يسبب الفضاء اللامتناهي نتيجة عجيبة بشكل خاص، لذلك دعونا نتبع المنظور التضخمي السائد ونفترض أن الفضاء لا متناهٍ[35].

سيقع السواد الأعظم من الفضاء اللامتناهي في ما وراء قدرتنا على الرؤية. فالضوء المنبعث من مكان بعيد يكون مرئيًا لتليسكوباتنا فقط إذا كان هناك متسعٌ من الوقت كي يقطع الفضاء بيننا. وباستخدام أقصى وقت ممكن للسفر -الفترة التي تفصلنا عن الانفجار العظيم وقدرها 13,8 مليار عام- يمكننا حساب أن أقصى مسافة يمكننا رؤيتها في أي اتجاه هي نحو 45 مليار سنة ضوئية (ربما ظننتَ أن الحد الأقصى سيكون 13,8 مليار سنة ضوئية، ولكن نظرًا إلى أن الفضاء يتمدد أثناء انتقال الضوء، يكون الحيّز أكبر). وإذا نشأتَ على كوكب أبعد عن الأرض من هذه المسافة، فلن توجد طريقة حتى الآن يمكن بها أن يتواصل أحدنا مع الآخر أو يؤثر عليه. لذا، بافتراض أن الفضاء لا متناهٍ، يمكنك تصويره على أنه نسيج مرقّع مكوّن من مناطق يبلغ عرضها 90 مليار سنة ضوئية شديدة التباعد عن بعضها، وكل منطقة تتطوّر بصورة مستقلة عن المناطق

الأخرى[36]. يحب الفيزيائيون التفكير في كل منطقة على أنها كون مستقلّ، وتشكل المجموعة الكاملة لهذه المناطق *كَوْنًا متعدّدًا*. وبناءً على ذلك، فإن امتداد المكاني اللامتناهي يؤدي إلى كون متعدد يحوي عددًا لا نهائيًا من الأكوان.

عند دراسة هذه الأكوان، أثبت الفيزيائيان جاوم جاريجا وأليكس فايلينكين[37] وجود سمة محورية، وهي أنك إذا شاهدت سلسلة من الأفلام التي تظهر التطور الكوني في كل منها، فلن تكون مختلفة. فبما أن لكل منطقة حجمًا محدودًا، وأن كل منطقة تحتوي على كمية كبيرة ولكن محدودة من الطاقة، فلا يوجد سوى عدد محدود من التواريخ المتمايزة التي يمكن أن تتكشَّف. قد ينبئك حدسك بخلاف ذلك، وربما تتوقع أنه سيكون هناك العديد من الاختلافات اللانهائية لأنه من الممكن تعديل أي تاريخ عن طريق دفع هذا الجُسَيْم بهذه الطريقة، أو ذاك الجُسَيْم بطريقة أخرى. ولكن في الواقع، إذا كانت تأثيراتك أصغر مما ينبغي، فإنها ستكون من دون حد حساسية عدم اليقين الكمّي، ومن ثم ستكون بلا معنى، بينما إذا كانت التأثيرات أكبر مما ينبغي، فلن تبقى الجُسَيْمات داخل المنطقة أو ستتجاوز طاقاتها الحد الأقصى المتاح. وفي ضوء هذا القيد المفروض على النطاقَيْن الصغير والكبير، لا يوجد سوى عدد قليل من الاختلافات المحدودة المتاحة، وبذا لن يوجد إلّا عدد محدود من الأفلام المختلفة.

وهكذا، في ضوء وجود عدد كبير لا متناهٍ من المناطق، وعدد كبير ومحدود من الأفلام، لن توجد أفلام مختلفة كافية لتغطية كل المناطق. وهكذا نضمن أن الأفلام ستتكرر. في الواقع، نحن نضمن أنها ستتكرر مرات عديدة لا متناهية. ونضمن أيضًا أنه سيجري استخدام كل فيلم. إن الاهتزازات الكمومية التي تؤدّي إلى اختلاف كل تاريخ عن الآخر عشوائية، ومن ثم فهي تجسّد كل ترتيب ممكن. ولا يُترَكُ أي تاريخ. وهكذا فإن المجموعة اللامتناهية من الأكوان تحقِّق كل تاريخ ممكن، وكل تاريخ كهذا يتحقق عددًا لا نهائيًا من المرات.

يترتّب على ذلك نتيجة عجيبة: وهي أن الواقع الذي نشعر به أنا وأنت وكل شخص آخر يحدث أيضًا في مناطق أخرى -في أكوان أخرى- مرارًا وتكرارًا. وإذا عدلت هذا الواقع بأي طريقة لا تحظّرها قوانين الفيزياء بشكل صارم (لا يمكنك انتهاك مبدأ حفظ الطاقة أو الشحنة الكهربائية مثلًا)، فسيوجد هذا الواقع أيضًا مرارًا وتكرارًا. يجد العقل متعةً في تصور عوالم أخرى يكون الواقع فيها مختلفًا؛ كأن يخطئ لي هارفي أوزوالد إصابة هدفه، أو ينجح كلاوس فون شتاوفنبرج في مسعاه، أو يفشل جيمس إيرل راي في

التصويب[1]. سوف يتعرف هواة الكم على التشابه مع ما يسمى بتفسير العوالم المتعددة لفيزياء الكم، والذي يتصور أن كل نتيجة ممكنة تسمح بها قوانين الكَمّ تحدث في كون منفصل خاص بها. وقد دار الجدل بين الفيزيائيين لأكثر من نصف قرن حول ما إذا كان هذا النهج لميكانيكا الكم منطقيًا من الناحية الرياضية، وما إذا كانت الأكوان الأخرى حقيقية أم مجرد تخيلات رياضية مفيدة. والاختلاف الأساسي في النظرية الكونية التي نعيد سردها الآن هو أن العوالم الأخرى -المناطق الأخرى- ليست مسألة تفسير. وإذا كان الفضاء لا متناهٍ، فإن المناطق الأخرى موجودة بالفعل.

من كل ما استكشفناه في هذا الفصل والفصول السابقة، من المعقول أن نخلص إلى أنه هنا في منطقتنا، في كوننا، أضحت أيامنا معدودة، وكذلك أيام الكائنات المفكرة بشكل عام. قد يكون عدد الأيام كبيرًا، ولكن في موضع ما ونحن نصعد مبنى الإمباير ستايت، أو ربما بعده، من المرجح أن تصل الحياة والعقل إلى نهايتهما. وفي ضوء هذا الاحتمال، يقدم جاريجا وفايلينكين نوعًا غريبًا من التفاؤل. ويذكران أنه بما أن كل تاريخ يتكشّف في مجموعة لا متناهية من الأكوان، فإن بعض هذه الأكوان من الحتمي أن يتمتّع بانخفاضات نادرة ولكنها عارضة في الإنتروبيا تحافظ على نجوم وكواكب معيَّنة سليمة، أو تنتج بيئات جديدة تضم مصادر طاقة عالية الجودة، أو أيًا من مجموعة واسعة من التطورات غير المتوقعة التي ستسمح للحياة والتفكير بالاستمرار لفترة أطول بكثير مما كان متوقّعًا. وفي الواقع، يرى جاريجا وفايلينكين أنك إذا اخترت أي مدة محدودة، مهما كانت طويلة، فستوجد أكوان من بين المجموعة اللامتناهية تسبح فيها عمليات غير مرجَّحة ضد تيار الإنتروبيا الحتمي بحيث تحافظ على الحياة على الأقل لتلك المدة. وهكذا، سيستضيف بعض الأكوان، من بين عدد الأكوان اللامتناهي، الحياةَ والعقل لفترات زمنية طويلة للغاية في المستقبل البعيد.

من الصعب معرفة كيف سيفسِّر سكان هذه المناطق حظهم الجيد الذي مكَّنهم من البقاء على قيد الحياة. أو ما إذا كانوا يدركون حُسن حظهم في المقام الأول. ربما يكونون قد توصلوا إلى نفس الفهم للفيزياء كما فعلنا ويدركون أن التقلبات العشوائية من الممكن أن تؤدّي إلى نتائج نادرة وعارضة. غير أن هذه المعرفة تحديدًا ستوضح في الوقت نفسه أن ما يمرّون به غير مرجّح بشكل استثنائي، رغم كونه ممكنًا. وانطلاقًا من هذا الإدراك ربما يخلصون إلى أنهم في حاجة إلى إعادة صياغة فهمهم للفيزياء.

---

(1) المسؤولون، بالترتيب، عن اغتيال الرئيس الأمريكي جون كينيدي، والمحاولة الفاشلة لاغتيال هتلر، واغتيال مارتن لوثر كينج الابن (المترجم).

فكّر في الأمر. على الرغم من أن القوانين الاحتمالية لفيزياء الكم تسمح بإمكانية السير عبر جدار صلب، إلّا أننا إذا فعلنا ذلك مرارًا وتكرارًا، سيتعين علينا تجديد فهمنا لفيزياء الكَمّ. ليس بسبب أنني خالفت قوانين الكَمّ. فأنا لم أفعل هذا. بل الأمر ببساطة هو أنه إذا وقعت حوادث يُفترض أنها غير مرجَّحة، وحدثت كثيرًا، فإننا نميل إلى البحث عن تفسيرات أفضل تقضي بأن هذه الحوادث غير مستبعَدة على الإطلاق. وبالطبع من الممكن أيضًا ألّا يركّز سكان مثل هذه العوالم المحظوظة على التفسيرات على الإطلاق، ويستمتعون باللحظة ببساطة ويعيشون في سعادة إلى أجل غير مسمى.

نظرًا إلى أن احتمالات أننا نعيش في مثل هذه المنطقة، أو أننا قريبون بما يكفي من منطقة كهذه بحيث نهرب إليها، شبه منعدمة، ربما عند اقتراب نهايتنا نجمع كل ما تعلمناه واكتشفناه وصنعناه ونحزمه في كبسولة ثم نطلقها على أمل أن تصل يومًا ما إلى أحد العوالم الأكثر حظًا. وإذا لم نكن جزءًا من سلالة تمتد وخالدة، فربما يمكننا نقل جوهر إنجازاتنا إلى أولئك الذين كذلك. وربما نترك أثرًا نحو الخلود، مهما كان غير مباشر. يدرس جاريجا وفايلينكين نسخة من هذا السيناريو، وبالترافق مع رؤى الفيلسوف ديفيد دويتش خلصنا إلى أن هذه الخطة ميؤوس منها. فعبر العدد اللامتناهي من الأكوان والنطاقات الزمنية الشاسعة، ستنتج التقلبات الكمية العشوائية من الكبسولات المزيفة عددًا يفوق بكثير ما سينتجه أحفادنا من كبسولات حقيقية، وهو ما يضمن أن أي بصمة موثوق بها تبيِّن من نحن وما حققناه ستضيع في الضوضاء الكمية.

من المرجح أن تنتهي الحياة والتفكير هنا في كوننا، الذي طالما اعتبرناه الكون الوحيد. وربما نجد العزاء في معرفة أنه في مكان ما في المساحات الشاسعة للفضاء اللامتناهي، بعيدًا عن حدود عالمنا، قد تستمر الحياة والتفكير، إلى ما لا نهاية. ومع ذلك، فعلى الرغم من أن بمقدورنا التفكير في الخلود، وعلى الرغم من أن باستطاعتنا محاولة الاقتراب منه، يبدو أننا عاجزون عن إدراكه.

الفصل الحادي عشر

نُبل الكينونة

العقل، والمادة، والمعنى

كان المرشد، ذو البندقية المعلقة في تراخ على ظهره، في متنزه بيلانسبيرج الوطني يتأكد مرة أخرى من أن أولئك الذين يرافقونه سيرًا على الأقدام سيستجيبون على النحو الملائم إذا اقترب منهم فيل أو فرس نهر أو أسد أكثر مما ينبغي. قال مشددًا على كل كلمة وينقل عينيه ببطء عبر المجموعة: «تقف... مكانك... من دون حراك. تهرب من أسد؟ ستقضي بقية حياتك في محاولة الفوز بهذا السباق». ضحكنا بلطف وغمغمنا جميعًا: «نعم» و«بالطبع» و«بالتأكيد». في هذه اللحظة ألقيت نظرة خاطفة على كُم قميصي الفضفاض. لم يكن من العسير تحديد ماهية الشيء الذي كان يتعلق بسوار قميصي. كان عنكبوت رتيلاء يشق طريقه إلى الأعلى. أصابني الهلع، وطوحت بذراعي إلى الأمام والخلف، مطيحًا بالأكواب الموضوعة على مائدة الإفطار. بعد ذلك قفزت من على الكرسي، وأسقطت الآن أيضًا الأطباق التي نجت من السقوط الأول. ووسط هذه الفوضى، سقط عنكبوت الرتيلاء، أو ذلك الشيء بصرف النظر عن ماهيته حقًا. وحين استعدتُ رباطة جأشي، كان الكائن الصغير الذي لا يتجاوز حجمه العملة المعدنية الصغيرة على الأرض، يزحف ببطء مبتعدًا. وعندما استقر كل شيء قال المرشد مبتسما: «آه، لقد تحدث الكون نيابةً عن صديقنا الفيزيائي. ستتنقل في العربة الجيب». وفعلت.

لم يتحدّث الكون نيابة عنّي. كان الهجوم عشوائيًا، وكان توقيته اعتباطيًا تمامًا. ولو لم أكن طرفًا في الموقف لسارعت بتقديم الرد المعتاد، الذي ذكرته سابقًا، ومفاده أنه في غياب مثل هذا الحدث لن يمثل عدم حدوث هذه المصادفة أي مفاجأة. لكن الحقيقة هي أنني شعرت بجسامة الموقف المحرج للحظة وجيزة. كنت بالفعل غير مرتاح بشأن خوض رحلة سافاري سيرًا على الأقدام، وكنت أتساءل عما إذا كان ينبغي عليّ التراجع، ثم تلقيت تذكيرًا مفصلًا بأن هذا الخطر تحديدًا ليس في مصلحة شخص عندما يستغرق في التفكير من الممكن أن يفزع حتى الموت بسبب تحية عابرة غير متوقعة. عقلانيًا، أعرف أن هذا الكلام سخيف. فالكون لا يراقب ما أفعله أو الأخطار

التي أواجهها. ومع ذلك، بينما كانت الغرائز الموروثة التي ألهبها هجوم الرتيلاء تتراجع تدريجيًا، كان التفكير العقلاني على بُعد خطوة أو خطوتين من استعادة السيطرة الكاملة.

إن الحساسية تجاه الأنماط جزء من سبب هيمنتنا نحن البشر. فنحن نبحث عن روابط. ونلاحظ المصادفات. ونميز الحوادث المتكررة المنتظمة، ونُكسبها أهمية. غير أن بعض عمليات الإكساب هذه ناتج عن تحليلات مدروسة تحدد تفصيليًا سماتٍ للواقع يمكن إثباتها. بينما الكثير منها يخرج من تفضيل شعوري لفرض ما يشبه النظام على فوضى الخبرة.

النظام والمغزى

غالبًا ما أتحدث كما لو أن معادلاتنا الرياضية موجودة بصورة مادية في العالم، وتتحكّم دون هوادة في كل العمليات الفيزيائية، من الكواركات إلى الكون. قد يكون هذا هو الحال. وربما سنثبت يومًا ما أن الرياضيات جزء جوهري من نسيج الواقع. وعندما تعمل مع المعادلات يومًا بعد يوم، فمن المؤكّد أن هذا الشعور يراودك. ومع ذلك، فأنا أشعر بثقة أكبر في التشديد على أن الطبيعة مطيعة للقوانين -إن الكون مؤلف من مكوِّنات تتبع سلوكياتها تسلسلًا ملتزمًا بالقوانين- وهذا هو أساس الرحلة التي خضناها في هذا الكتاب. وتمثل المعادلات الموجودة في صميم الفيزياء الحديثة تعبيرنا الأدق عن القوانين. ومن خلال التجارب والمشاهدات الدؤوبة، أثبتنا أن هذه المعادلات تقدّم وصفًا دقيقًا بشكل مذهل للعالم. ولكن ليس هناك ما يضمن التعبير عنها في قاموس الطبيعة الجوهري. وأنا متقبل لاحتمال أننا عندما نعرض في المستقبل للزوار الفضائيين معادلاتنا بفخر، فإنهم سوف يبتسمون في أدب، ويخبروننا أنهم بدأوا أيضًا بالرياضيات، لكنهم اكتشفوا بعد ذلك اللغة *الحقيقية* للواقع، وإن كنت أرى هذا الاحتمال غير مرجّح.

تاريخيًا، كان الحدس المادي لأسلافنا يسترشد بالأنماط الواضحة في المواجهات المألوفة، من سقوط الصخور إلى تكسر الأغصان إلى تدفق الجداول، في ظل وجود قيمة واضحة متعلقة بالبقاء لامتلاك شعور فطري بالحركة الميكانيكية اليومية. وبمرور الوقت، قمنا بتوظيف قدراتنا المعرفية من أجل تجاوز مثل هذا الحدس المعزز للبقاء، وإبراز الأنماط وترسيخها في عوالم تمتد من العالم المتناهي الصغر للجُسَيْمات الفردية إلى العالم العياني للمجرّات العنقودية، والتي يكون للعديد منها قيمة تكيفية قليلة أو معدومة. ومن خلال تشكيل حدسنا وتطوير مهاراتنا المعرفية، بدأ التطور تعليمنا الفيزياء، غير أن فهمنا الأشمل نبع من قوة الفضول البشري الذي يُعَبَّر عنه من خلال لغة الرياضيات.

والمعادلات الناتجة التي يُعَبّر عنها بهذه اللغة ذات فائدة عميقة في استكشاف البنية العميقة للواقع، لكنها قد تكون مع ذلك محض بنى اختلقها العقل البشري.

أتمسك بنسخة من هذا المنظور عندما نحول التركيز إلى الصفات التي ترشد تقييمنا للخبرة البشرية. الصواب والخطأ، الخير والشر، القدر والغاية، القيمة والمعنى، كلها مفاهيم مفيدة بعمق، لكنني لست من بين أولئك الذين يعتقدون بأن الأحكام الأخلاقية وتعيينات الأهمية تسمو فوق العقل البشري. فنحن من نخترع هذه الصفات. وليس هذا من عمل الخيال وحده. فعقولنا المُشكّلة بواسطة الانتخاب الداروينى تنحو إلى الانجذاب إلى الأفكار والسلوكيات المختلفة، أو النفور أو الخوف منها. في جميع أنحاء العالم، تعد رعاية الأطفال أمرًا ساميًا، في حين أن سفاح القربى أمر مقيت. وتحظى العدالة في التعاملات اليومية بتقدير واسع، وكذلك الولاء للأسرة والرفاق. وبينما اجتمع أسلافنا في مجموعات، أدى التفاعل بين هذه الميول، والعديد من الميول الأخرى، والمواقف اليومية الواقعية إلى خلق حلقات تغذية راجعة: إذ أثّر سلوك الأفراد على فعالية حياة المجموعة، مما أدى إلى التعبير التدريجي عن قواعد السلوك المجتمعية. في المقابل، ساهمت هذه المواثيق السلوكية بدرجات متفاوتة من قيمة البقاء لأولئك الذين اتبعوها[1]. ومثلما شكّل الانتخاب الطبيعي حدسنا بالفيزياء الأساسية، فقد كان له أيضًا دور في تشكيل إحساسنا الفطري بالأخلاق والقيمة.

حتى بين أولئك الذين يتفقون مع الاعتقاد بأن المواثيق الأخلاقية لا تُفرض من أعلى أو تطفو في عالم الحقيقة المجردة، ثمة نقاش صحّي يدور حول دور الإدراك البشري في تحديد كيفية تطور هذه المشاعر المبكرة. ويقترح البعض، على غرار النمط التطوري للفيزياء، أن التطور غرس إحساسًا أخلاقيًا بدائيًا، لكن قدراتنا المعرفية مكنتنا من القفز إلى ما وراء تلك القاعدة الفطرية كي نشكل توجهات ومعتقدات مستقلة[2]. ويقترح البعض الآخر أننا بارعون في استخدام براعتنا المعرفية لتفسير التزاماتنا الأخلاقية، بيد أن هذه السرديات لا تزيد على كونها قصصًا تصف الواقع وحسب، أي تبريرات للأحكام الراسخة في ماضينا التطوري[3].

ثمة نقطة من الجدير إعادة التأكيد عليها وهي أن أيًا من هذه المواقف لا يعتمد على المفهوم التقليدي للإرادة الحرة. فعند وصف السلوك البشري، نستحضر مزيجًا من العوامل، من الغريزة والذاكرة إلى الإدراك والتوقعات المجتمعية. ومع ذلك، كما ذكرنا سابقًا، فإن هذا النوع من السرد العالي المستوى -الذي يقع في صميم كيف أننا كبشر نعطي معنى للعالم- ينشأ من سلسلة معقّدة من العمليات التي تستند في النهاية إلى ديناميكيات المكونات الأساسية للطبيعة. فنحن جميعًا مجموعات من الجُسَيْمات، ونستفيد من معارك تطورية لا حصر لها حررت سلوكياتنا ومنحتنا القدرة على تأخير

التحلل الإنتروبي. غير أن مثل هذه الانتصارات لا تمنحنا أي سلطة نابعة من الإرادة الحرة على التقدم الجسدي، ولا ينتظر تطور العالم رغباتنا وأحكامنا وتقييماتنا الأخلاقية. أو، بتعبير أدقّ، ما رغباتنا وأحكامنا وتقييماتنا الأخلاقية إلّا جزء بسيط من التقدم المادي للعالم، كما تمليه القوانين النزيهة للطبيعة.

يستحضر وصفنا لهذا التقدم قواعد رياضية غير شخصية توضح بالرموز كيف سيتطور الكون من لحظةٍ إلى أخرى. وعلى مدار جزء كبير من الماضي، قبل ظهور مجموعات من الجزيئات قادرة على تدبّر الواقع، كانت هذه القصة هي القصة الكاملة. ونظرًا إلى درايتنا الآن بالتفاصيل الأساسية، يمكننا إعادة سرد نسختنا الأدق، ولكن المشروطة، من تلك القصة؛ وذلك في سرعة وإيجاز وبلغة سهلة، مع مسحة من التجسيد.

منذ نحو 13,8 مليار عام، وداخل فضاء آخذ في التضخم بعنف، تحللت الطاقة الموجودة في سحابة دقيقة ولكن مرتبة من مجال التضخم، مما أدى إلى كبح الجاذبية الطاردة، وملء الفضاء بتيار من الجُسَيْمات، وتدشين عملية تخليق أبسط النوى الذرية. وحيثما تسبب عدم اليقين الكمي في زيادة كثافة تيار الجُسَيْمات بشكل طفيف، كانت قوة الجاذبية أقوى قليلًا، مما جذب الجُسَيْمات للتجمّع معًا في كتل متزايدة النمو باستمرار وتشكيل النجوم والكواكب والأقمار والأجرام السماوية الأخرى. وأدى الاندماج داخل النجوم، علاوة على التصادمات النجمية النادرة ولكن القوية، إلى دمج النوى البسيطة معًا بحيث كوّنت أنواعًا ذرية أكثر تعقيدًا، والتي، عند انهمارها على كوكب واحد على الأقل في طور التشكُّل، تجمعت وفق مبادئ الداروينية الجزيئية على هيئة ترتيبات قادرة على تكرار الذات. وانتشرت الاختلافات العشوائية للترتيبات التي تصادف أنها شجعت الخصوبة الجزيئية انتشارًا واسعًا. ومن بين هذه المسارات كانت المسارات الجزيئية لاستخراج المعلومات والطاقة وتخزينها وتوزيعها -عمليات الحياة البدائية- والتي، على مدار الزمن الطويل للتطور الدارويني، أضحت مصقولة بدرجات متزايدة. وبمرور الوقت، ظهرت كائنات حيّة معقدة وذاتية التوجيه.

الجُسَيْمات والمجالات. القوانين الفيزيائية والظروف الأولية. حتى عمق الواقع الذي بلغناه إلى الآن، لا يوجد دليل على وجود أي شيء آخر. فالجُسَيْمات والمجالات هي المكوِّنات الأولية. والقوانين الفيزيائية التي تشكلها الظروف الأولية تُملي التقدم. وبما أن الواقع محكوم بميكانيكا الكم، فإن أحكام القوانين تتصف بالاحتمالية، ولكن حتى مع ذلك فإن الاحتمالات تتحدّد على نحو صارم بواسطة الرياضيات. إن الجُسَيْمات والمجالات تقوم بما تقوم به دون أي اهتمام بالمعنى أو القيمة أو الأهمية. حتى عندما تظهر الحياة نتيجة للتقدم الرياضي اللامبالي للقوانين الفيزيائية، فإنها تظل

محتفظة بسيطرتها الكاملة. وليس لدى الحياة أي قدرة على التدخل في القوانين أو نقضها أو التأثير عليها.

ما يمكن أن تفعله الحياة هو تسهيل عمل مجموعات من الجُسَيْمات في تناغم وتجسيد سلوكيات جماعية تكون جديدة مقارنة بعالم الجماد. إن الجُسَيْمات التي تتكوّن منها زهرة القطيفة والبِلية ملتزمة تمامًا بقوانين الطبيعة، ومع ذلك تنمو زهرة القطيفة إلى حجم أكبر وتتبع الشمس بينما لا تفعل البِليات ذلك. ومن خلال قوة الانتخاب الطبيعي، يلعب التطور دورًا في تشكيل الذخيرة السلوكية للحياة، بحيث يحابي الأنشطة التي تعزّز البقاء والتكاثر. ومن بين هذه الأنشطة، في نهاية المطاف، التفكير. إن القدرة على تكوين الذكريات، وتحليل المواقف، والاستقراء من التجربة، توفر أداة قوية في سباق التسلح من أجل البقاء. وقد وقف التفكير وراء سلسلة من الانتصارات عبر عشرات الآلاف من الأجيال، ومن ثم فقد صُقل تدريجيًّا، مما أدى إلى ظهور أنواع مفكرة تكتسب درجات متباينة من الوعي الذاتي. ليست إرادات هذه الكائنات حرة بالمعنى التقليدي المتمثل في الخروج عن المسار الذي يمليه القانون الفيزيائي، ولكن بنيتها العالية التنظيم تسمح بوفرة من الاستجابات -من المشاعر الداخلية إلى السلوكيات الخارجية- التي ليست متاحة، على الأقل حتى الآن، لمجموعات الجُسَيْمات التي تفتقر إلى الحياة أو العقل.

أضف إلى ذلك اللغة، وسيرتقي أحد هذه الأنواع المدركة لذاتها فوق احتياجات اللحظة ليرى نفسه جزءًا من مسار يمتد من الماضي إلى المستقبل. وبهذا، لم يعُد ربح المعركة هو الشاغل الوحيد. فلم نعد قانعين بمجرد البقاء على قيد الحياة. بل نريد أن نعرف سبب أهمية البقاء على قيد الحياة. فنحن نبحث عن السياق، ونبحث عن الصلة، ونعزو القيمة، ونحكم على السلوك. إننا نسعى وراء المعنى.

وهكذا فإننا نطور تفسيرات تتناول كيف ظهر الكون، وكيف يمكن أن ينتهي. ونسرد، ونعيد سرد، قصص العقول التي تشق طريقها عبر عوالم حقيقية وخيالية. فنتخيل عوالم يسكنها أسلاف رحلوا أو كيانات قاهرة أو شبه قاهرة تختزل الموت إلى نقطة انطلاق داخل وجود متواصل. ونحن نرسم ونحفر ونطبع ونغني ونرقص بهدف لمس هذه العوالم الأخرى، أو تبجيلها، أو ببساطة ترك بصمة مستقبلية تشهد على وجودنا العابر تحت الشمس. وربما تترسّخ هذه المشاعر وتصبح جزءًا مما يعنيه أن نكون بشرًا نظرًا إلى أنها تعزز البقاء. إن القصص تهيئ العقل للاستجابة إلى ما هو غير متوقع، ويطوِّر الفن الخيالَ والابتكار، وتشحذ الموسيقى الحساسية إلى الأنماط، ويجعل الدين أتباعه متماسكين في تحالفات قوية. أو ربما يكون التفسير أقل نُبلًا: فربما تظهر بعض الأنشطة، أو كلّها، وتستمر لأنها تفيد أو تتوافق مع السلوكيات والاستجابات الأخرى التي تلعب

دورًا مباشرًا أكثر في تعزيز البقاء على قيد الحياة. ولكن، حتى في ضوء أن الأصل التطوري لهذه الجوانب من السلوك البشري لا يزال محل نقاش، فإنها تظهر حاجة واسعة النطاق إلى تجاوز السعي وراء البقاء العابر. فهي تكشف عن رغبة منتشرة في أن نكون جزءًا من شيء أكبر، شيء دائم. وهكذا فإن القيمة والمعنى، الغائبان من دون ريب عن الأساس المتين للواقع، يصبحان جزءًا أصيلًا من دافع لا يهدأ يرفعنا فوق الطبيعة اللامبالية.

الفَناء والمغزى

بينما تساءل جوتفريد لايبنتس عن سبب وجود شيء بدلًا من لا شيء، فإن المعضلة الشخصية العميقة تتمثل في أن الأشياء المدركة لذاتها، مثلنا، تتحلّل في النهاية ويبتلعها العدم. ويعني اكتساب منظور زمني إدراك أن النشاط النابض بالحياة الذي يحرّك عقل المرء سوف يتوقف يومًا ما.

على خلفية هذا الإدراك، استكشفت الفصول السابقة الامتداد الكامل للزمن من أفضل صوَر فهمنا لبدايته إلى أقرب ما يمكن لنظرياتنا الرياضية أن تأخذنا نحو نهايته. هل سيستمر فهمنا في التطور؟ بالتاكيد. هل سيجري تحسين أو استبدال بعض التفاصيل، سواء الثانوية أو الحيوية؟ لا شك في هذا. غير أن إيقاع الولادة والموت، والظهور والتفكّك، والخلق والدمار الذي شهدناه على طول الخط الزمني سيستمر. إن رقصة الإنتروبيا الثنائية وقوى الانتخاب التطورية تثري المسار من النظام إلى الفوضى ببنى مذهلة، ولكن في نهاية المطاف فإن كل شيء، من النجوم أو الثقوب السوداء، أو الكواكب أو البشر، أو الجزيئات أو الذرات، سيتفكّك. تتفاوت الأعمار تفاوتًا عريضًا. ومع ذلك، فإن حقيقة أننا سنموت جميعًا، وحقيقة أن الجنس البشري سيفنى، وحقيقة أن الحياة والعقل، على الأقل في هذا الكون، من شبه المؤكد أن يفنيا هي النتيجة المتوقعة، العادية، طويلة الأمد للقانون الفيزيائي. الشيء الوحيد الجديد هو أننا نلاحظ هذا.

ثمة توقّع متكرر، وإن كان مؤرقًا، يفكر فيه كثيرون بصورة عابرة ويدرسه البعض بشكل مكثف، مفاده أننا سنكون أفضل حالًا إذا غاب الموت تمامًا عن الشأن البشري. وقد تدبَّر المفكرون هذا الاحتمال، من الأساطير القديمة إلى الأعمال الأدبية الحديثة. ومن اللافت للنظر أنه في هذه الرحلات لا تسير الأمور دائمًا على ما يرام. إن الخالدين في «أرض لوجناج Land Of Luggang» لـ جوناثان سويفت يواصلون التقدم في السن وتُعلَن وفاتهم قانونيًا في الثمانين من العمر ثم يطويهم النسيان. وبعد أن تحمّلت لأكثر من ثلاثمائة عام، سمحت إلينا ماكروبولوس، بطلة المسرحية التي ألّفها كارل تشابيك، بإضرام النار في تركيبة إكسير الحياة بدلًا من الاستمرار في حالة من الملل العميق. وكتب بطل رواية «الخالد» لـ خورخي لويس بورخيس، والذي يعيش في عالم لا نهاية

له يغيب عنه الموت: «لا أحد هو ذاته، ورجل فانٍ واحد هو كل الرجال... أنا إله، بطل، فيلسوف، شيطان، أنا العالَم، وهي طريقة مملة لقول إنني غير موجود»[4].

خاض الفلاسفة هذه المياه أيضًا، إذ قدَّموا تقييمات منهجية للحياة في عالم خالٍ من الموت. وتوصل بعضهم، مثل برنارد ويليامز، الذي ألهمه اقتباس كارل ياناشك الأوبرالي لمسرحية تشابيك، إلى استنتاجات قاتمة مماثلة[5]. ويذهب ويليامز إلى أنه في ظل توافر وقت لا نهائي، سيشبع كل شخص منا كل هدف يدفعنا إلى الأمام، مما يجعلنا فاتري الهمّة في مواجهة الأبدية الرتيبة المخدرة للعقل. ويؤكد آخرون، مثل آرون سموتس، الذي استقى رأيه جزئيًا من قصة بورخيس، أن الخلود من شأنه أن يفرغ القرارات التي تشكّل حياة الإنسان -كيف يقضي المرء وقته ومع من- من العواقب التي تشكل أساس أهميتها. هل اتخذت القرار الخاطئ؟ ليس هناك أي مشكلة. لديك الوقت الكافي لتصحيح الأمر. سيقع الرضا الناتج عن الإنجاز ضحية للخلود أيضًا. سيحقّق ذوو القدرات المحدودة أقصى إمكاناتهم ثم يعانون من الإحباط الأبدي، في حين أن أولئك الذين يتمتّعون بقدرات قادرة على التعمق من دون حدود سيُضمن لهم التحسّن المستمر، مما يقلل من الشعور بالإنجاز الذي يتحقّق نتيجة تجاوز التوقعات[6].

بصرف النظر عن هذه المخاوف، أظن أننا نتمتع بما يكفي من سعة الحيلة -وعندما يتاح لنا وقت لا نهائي سنكون أوسع حيلة- بحيث ننمو لنصير كائنات خالدة متزنة تمامًا. ومن المرجَّح أن تتحول احتياجاتنا وقدراتنا إلى ما هو أبعد من نيل التقدير، مما يجعل التقييمات القائمة على ما يحافظ على انتباهنا ودافعيتنا في الزمن والمكان الحاضرَيْن غير ذات أهمية. وإذا تطلبت متعة الحياة الأبدية نكهة مختلفة من السعادة، فسنجدها أو نبتكرها أو نطوِّرها. ليس هذا أكثر من حدس، بالطبع، غير أن استنتاج أننا سوف نشعر بالملل بالضرورة يوحي برؤية ضيقة للغاية للعقل الخالد.

وفي حين سيستمر العِلم في إطالة أمد الحياة، تشير رحلتنا إلى المستقبل البعيد إلى أن الخلود سيظل بعيد المنال إلى الأبد. وعلى الرغم من ذلك، فإن التفكير في الحياة التي لا تنتهي أبدًا يوضح أهمية الحياة التي تنتهي. ويوضح المصير المُتَخَيَّل للقيمة والمغزى في عالم خالد أنه في عالم فانٍ يتطلب فهم عدد كبير من قراراتنا وخياراتنا وخبراتنا وردود أفعالنا رؤيتها في سيّاق الفرص المحدودة والمدة المتناهية. لا يعني ذلك أن ننهض من الفراش كل صباح ونصيح: «فلنعِش الحياة!». ولكن المعرفة العميقة بوجود عدد محدود من الصباحات التي سننهض فيها تغرس داخلنا إحساسًا بديهيًا بالقيمة، إحساسًا سيكون مختلفًا تمامًا في عالم نستيقظ فيه عددًا لا متناهيًا من المرات. إن التفسيرات التي نقدّمها للموضوعات التي ندرسها، والحِرَف التي نتعلّمها، والعمل الذي نمارسه، والمخاطر التي نقدم عليها، والشركاء الذين ننضمّ إليهم، والعائلات التي

نبنيها، والأهداف التي نضعها، والمخاوف التي نفكّر فيها -كلها- تعكس إقرارنا بأن فرصنا نادرة لأن وقتنا محدود.

يستجيب كل منا لهذا الإقرار بطريقته الخاصة، ولكن ثمة صفات مشتركة تمر عبر الإحساس الإنساني بالقيمة. ومن بين هذه الصفات الحاجة القوية للغاية، لكن غير المعلن عنها في كثير من الأحيان، إلى مستقبل يسكنه أحفاد يواصلون العيش بعد رحيلنا.

الأحفاد

قبل عدة سنوات، طُلب مني المشاركة في حديث تالي على عرض مسرحي، لم يُعرَض على مسارح برودواي، تدرك فيه شخصيات المسرحية أن كويكبًا سيدمّر الأرض قريبًا. كان زميلي في المناقشة هو شقيقي، وتوقّع المنتجون أن التعليق على نهاية العالم من شقيقين لهما مسارا حياة متباينان لكنهما مرتبطان -حيث أحدهما منغمس في العلم والآخر في الدين- سيكون ممتعًا للجمهور. بصراحة، لم أفكر كثيرًا في القضايا قبل الحدث، وفي تلك الأيام كنت أكثر تأثرًا بطاقة الجمهور. كلما مال شقيقي في حديثه نحو العوالم الأثيرية، أصبحت أكثر صراحة. «الأرض كوكب عادي يدور حول نجم غير مميز في ضواحي مجرّة عادية. وإذا دمَّرنا كويكبٌ، فلن يكترث الكون كثيرًا. ومن المنظور الكلي للأشياء، لن يكون للأمر أي أهمية». رحب البعض بهذه القسوة، وأفترض أن هؤلاء هم الذين يصفون أنفسهم بأنهم مشكّكون لا يقبلون الهراء ويواجهون بشجاعة حقائق الوجود. لكن رأى آخرون أن تعليقاتي متعجرفة. حسنًا، شعر أحد أفراد الجمهور على الأقل بهذه الطريقة: إذ وجَّهت امرأة عجوز لي اللوم لأنني ضربت بعرض الحائط ما وصفته بأنه حاجة أساسية لدينا جميعًا لاستمرار النوع. وتساءلت: «ما الأخبار التي ستؤثر عليك أكثر، إذا قيل لك إن أمامك عامًا لتعيشه أم إن الأرض ستُدمَّر في غضون عام؟».

في ذلك الوقت، قدمتُ إجابة بسيطة مفادها أن الأمر يعتمد على ما إذا كانت أي من النتيجتين ستنطوي على ألم جسدي. ولكن لاحقًا، عندما فكرت مليًا في السؤال، وجدته كاشفًا على نحو غير متوقع. إن تشخيص المرض على أنه في مرحلته الأخيرة يؤثّر على الناس بطرق مختلفة؛ كتركيز الانتباه، أو توفير المنظور، أو إذكاء الندم، أو بث الذعر، أو التحلّي برباطة الجأش، أو التحلّي بالبصيرة. توقّعت أن رد فعلي سيوجد في موضع ما بين هذه المواضع. بيد أن احتمالية القضاء على الأرض والبشرية جمعاء أثار رد فعل من نوع مختلف. فهذا الخبر سيجعل كل شيء يبدو بلا معنى. وفي حين أن نهايتي الوشيكة من شأنها أن تزيد من حدة مشاعري، وتضفي الأهمية على لحظات كان من الممكن في ظروف أخرى أن تتراجع في ظل رتابة الحياة اليومية، فإن التفكير في نهاية النوع بأكمله بدا أن له تأثيرًا معاكسًا، إذ أنتج شعورًا بانعدام الجدوى. هل

سأواصل الاستيقاظ صباحًا وتحدوني الرغبة في متابعة أبحاثي في الفيزياء؟ ربما أفعل هذا انطلاقًا من شعور الراحة المتولّد عن القيام بشيء مألوف، ولكن في ضوء عدم وجود أحد يستكمل اكتشافات اليوم، من شأن جاذبية دفع المعرفة أن تَضعُف. هل أنتهي من الكتاب الذي عكفت على كتابته؟ ربما أفعل هذا بسبب شعور الرضا الناتج عن إكمال الأمور المنقوصة، ولكن في ضوء عدم وجود من يقرأ العمل النهائي فإن الحافز سيخمد. هل سأرسل أطفالي إلى المدرسة؟ ربما أفعل هذا بسبب الهدوء الذي يوفّره الروتين المعتاد، لكن في ضوء عدم وجود مستقبل، ما الذي سيستعدّون له؟

وجدت التناقض مع رد فعلي حيال معرفة تاريخ وفاتي مفاجئًا. ففي حين أدى أحد الإدراكين إلى تعظيم الوعي بقيمة الحياة، بدا الآخر وكأنه يستنزفه تمامًا. في الأعوام التي تلت ذلك، ساعد هذا الإدراك في تشكيل طريقة تفكيري حول المستقبل. لقد مرَّ وقتٌ طويلٌ على الرؤية التي راودتني في شبابي بشأن قدرة الرياضيات والفيزياء على السمو فوق الزمن، وكنت مقتنعًا بالفعل بالأهمية الوجودية للمستقبل. غير أن صورتي عن ذلك المستقبل كانت مجرّدة. كان المستقبل أرضًا للمعادلات والنظريات والقوانين، وليس مكانًا مأهولًا بالصخور والأشجار والناس. لستُ أفلاطونيًّا، لكنني مع ذلك تصورت ضمنيًّا أن الرياضيات والفيزياء لا يسموان فوق الزمن وحسب، بل يسموان أيضًا فوق الزخارف المعتادة للواقع المادي. صقل سيناريو يوم القيامة تفكيري، وجعلني أدرك بوضوح أن معادلاتنا ونظرياتنا وقوانيننا، حتى إذا كانت تمسّ الحقائق الأساسية، ليس لها قيمة جوهرية في حد ذاتها. فهي، على أي حال، مجموعة من الخطوط والخربشات المرسومة على السبّورات والمطبوعة في المجلات والكتب المدرسية. وتنبع قيمتها من أولئك الذين يفهمونها ويقدّرونها. كما من العقول التي تسكنها.

تجاوز هذا الصقل للتفكير دور المعادلات. وعندما قادني سيناريو يوم القيامة إلى تخيل مستقبل يخلو من أي شخص يتلقى كل ما نقدره، ويخلو من أي شخص يضيف بصماته المميزة وينقلها إلى الأجيال القادمة، فقد كشف لي كيف سيبدو هذا المستقبل الخاوي. وفي حين أن خلود الفرد ربما ينتقص من أهميته، يبدو خلود النوع ضروريًّا لتأمينها.

ليس بوسعي التيقّن من مدى انتشار رد الفعل هذا على أخبار النهاية الوشيكة، لكنني أظن أنه سيكون شائعًا. بدأ الفيلسوف صمويل شيفلر مؤخرًا بحثًا علميًا في هذه القضية، واستكشف نسخة مختلفة من السؤال الذي طرح عليّ منذ عقود. يسأل شيفلر: كيف سيكون رد فعلك إذا علمت أنه بعد ثلاثين يومًا من وفاتك سيتم القضاء على كل مَن تبقى؟ إنها نسخة كاشفة أكثر من السيناريو، لأنها تزيل الوفاة المبكرة للفرد من الصورة ومن ثم تسلط ضوءًا أكثر إحكامًا على دور الأحفاد في ترسيخ القيمة. ويتفق استنتاج شيفلر المتأني مع تأملاتي غير الرسمية:

مخاوفنا والتزاماتنا، وقيَمنا وأحكامنا المتعلّقة بالأهمية، وإدراكنا لما هو مهم –وما يستحق القيام به– كل هذه الأشياء تتشكل وتستمر على خلفية يؤخَذ فيها كأمر مسلّم به أن الحياة البشرية نفسها هي مشروع مزدهر ومستمر... نحن بحاجة إلى أن يكون للإنسانية مستقبل وذلك من أجل فكرة أن الأشياء تهمّ بحيث تحافظ على مكان آمن داخل ذخيرتنا المفاهيمية[7].

أدلى فلاسفة آخرون بدلوهم أيضًا، إذ قدموا آراءً تحدِّد طيفًا أوسع من وجهات النظر. تقترح سوزان وولف أن إدراك مصيرنا المشترك قد يرفع رعاية الآخرين إلى آفاق جديدة، ولكن رغم ذلك فإنها تقرّ بأن رؤيتنا لمستقبل يسكنه البشر ضرورية للقيمة التي ننسبها إلى مشروعاتنا[8]. ويقدّم هاري فرانكفورت وجهة نظر مختلفة، إذ يقترح أن العديد من الأشياء التي نوليها القيمة لن تتأثر بسيناريو يوم القيامة، وأبرزها المساعي الفنية والبحث العلمي. وهو يعتقد بأن الإشباع الجوهري النابع من هذه الأنشطة سيكون كافيًا للكثيرين كي يواصلوا القيام بها. قدمتُ بالفعل وجهة نظري المتناقضة في ما يتعلق بالبحث العلمي، والتي تؤكد نقطة ذات صلة، وهي نقطة بديهية لكنها ذات دلالة، ومفادها أن الناس سيستجيبون لهذا الخبر بطرق متباينة[9]. وأفضل ما يمكننا فعله هو تصور الاتجاهات السائدة. بالنسبة لي، ولآخرين عديدين أيضًا، يعني الانخراط في المساعي الإبداعية والمشاريع العلمية الشعور بأنك جزء من حوار إنساني طويل وثري ومتواصل. وحتى إذا لم تؤدِ ورقة الفيزياء التي أكتبها إلى قلب العالم رأسًا على عقب، فإنها تجعلني أشعر بأنني جزء من هذا الحوار. ومع ذلك، إذا علمت أنني آخر من يتحدث، وإذا علمت أنه لن يكون هناك أحد في المستقبل للتفكير في ما أقوله، فسيجعلني هذا أتساءل عما إذا كان ينبغي أن أكترث بالأمر من الأساس.

في سيناريو شيفلر، وكذلك في السؤال الذي طُرح عليَّ قبل سنوات، كان فناء العالم افتراضيًا، ولكن النطاقات الزمنية لدمار العالم يمكن استيعابها بسهولة. في هذا الكتاب، كان فناء العالم الذي استكشفناه حقيقيًا، ولكن النطاقات الزمنية تجعله بعيدًا بشكل استثنائي. هل هذا التغيير في النطاق، وهو تغيير هائل في حقيقة الأمر، بحيث يؤثر على النتائج التي نخلص إليها؟ يتدبر كل من شيفلر وسوزان وولف هذه القضية، ويعرضاها في شكل مسلٍ من خلال مشهد رائع في فيلم «آني هول»، يخلص فيه ألفي سينجر، البالغ من العمر تسعة أعوام، إلى أنه لا جدوى من القيام بالواجبات المنزلية نظرًا إلى أنه في غضون بضعة مليارات من الأعوام سيتفكك الكون المتمدّد ويدمّر كل شيء. يرى طبيب «ألفي Alvy» النفسي، وكذلك والدته، أن قلقه مثير للسخرية. ويضحك الجمهور لأنهم يعتبرون قلق ألفي هزليًا. يتفق شيفلر مع هذه الآراء لكنه يشير إلى أنه لا يوجد مبرر جوهري يجعلنا نعتقد بأنه من المعقول أن نمر بأزمة وجودية في

مواجهة الدمار الوشيك، ولكن من السخف القيام بذلك عندما يكون هذا الدمار في المستقبل البعيد. وهو يعزو ذلك إلى الصعوبة التي نواجهها في فهم النطاقات الزمنية التي تتجاوز إلى حد كبير نطاق الخبرة البشرية. تتفق وولف مع هذا الرأي، مشيرةً إلى أنه إذا كان الفناء الفوري للبشرية سيجعل الحياة بلا معنى، فمن المفترض أن ينطبق الأمر عينه حتى إذا كانت نهاية الحياة بعيدة. وهي ترى، في الواقع، أنه وفق المقاييس الزمنية الكونية، فإن التأخير البالغ بضعة مليارات من الأعوام ليس طويلًا على الإطلاق.

وأتفق مع هذا الرأي. بقوة.

كما رأينا مرارًا وتكرارًا، فإن فكرة الفترة الزمنية الطويلة أو القصيرة ليس لها معنى مُطلَق. فالطول والقصر ما هما إلّا مسألة منظور. فالزمن الذي يمثّله سطح المراقبة في مبنى الإمباير ستايت، الطابق الـ86، هائل بالمقاييس اليومية المعتادة، ولكن مقارنة تلك الفترة بالزمن الذي يمثله الطابق الـ100 يشبه مقارنة طرفة عين بعشرة آلاف قرن. إن منظورنا البشري المألوف يقودنا إلى أحكام تتّسم بكونها ضيقة الأفق رغم أهميتها. ولهذا السبب، لا أرى في سيناريو الفناء الوشيك أكثر من أداة تستخدم إلحاحًا مصطنعًا لتحفيز استجابة حقيقية. والحدس الذي نستقيه ينطبق على النهاية التي تنتظر أحفادنا في المستقبل البعيد، وهذا المستقبل، عند النظر إليه من سياق أكبر، يوجد على بُعد لحظة منّا.

وفي حين أن من الصعب حقًّا استيعاب النطاقات الزمنية التي تتجاوز بشكل كبير أي شيء نمر به، فإن الرحلة التي قطعناها في هذا الكتاب ملأت الخط الزمني الكوني بعلامات من شأنها أن تجعل الصورة المجرّدة ملموسة. لا أستطيع القول إن لدي إحساسًا فطريًّا بالمقاييس الزمنية المحدّدة عبر استعارة مبنى الإمباير ستايت بنفس الطريقة التي أستشعر بها المقاييس الزمنية للحياة اليومية أو تلك الخاصة بجيلي أو حتى ببضعة أجيال، غير أن تسلسل الحوادث التحويلية التي استكشفناها يقدم أساسًا لاستيعاب المستقبل. ليست هناك حاجة لترديد الترانيم، والتأمل في وضعية زهرة اللوتس اختياري تمامًا، ولكن إذا وجدت مكانًا هادئًا وتركت عقلك يهيم ببطء وبحرية على طول الخط الزمني الكوني، ويتحرك عبر عصرنا ثم يتجاوزه، مرورًا بعصر انحسار المجرّات البعيدة، وعصر المجموعات الشمسية الجليلة، وعصر المجرّات الدوامة الرشيقة، وعصر النجوم المحترقة والكواكب الجوّالة، وعصر الثقوب السوداء المتوهّجة والمتفكّكة، وما بعد ذلك إلى عصر بارد، مظلم، شبه فارغ لكن من المحتمل أن يكون امتدادًا غير محدود - يكون فيه الدليل على وجودنا في ما مضى محض جُسَيْم معزول موجود في هذا الموضع بدلًا من ذاك، أو جُسَيْم معزول آخر يتحرك بهذه الطريقة بدلًا من ذلك- وإذا كنت مثلي وتركت هذا الواقع يستقر بالكامل، فإن حقيقة أننا سافرنا بشكل خيالي إلى المستقبل البعيد لن تقلل البتّة من الشعور المزلزل والمذهل الذي

يتعاظم داخلك. في الواقع، وبطريقة أساسية واحدة، يضيف الامتداد للزمن وزنًا إلى خفة الوجود التي لا تُحتمَل تقريبًا، ومقارنة بالنطاق الزمني الذي وصلنا إليه، فإن حقبة الحياة والعقل متناهية الصغر. ووفقًا لمقاييس اليوم، فإن امتدادها الكامل، من أقدم الميكروبات إلى التفكير النهائي، سيشغل مدة تقل عن تلك التي يحتاجها الضوء لاجتياز نواة الذرة. وستظل الفترة الزمنية الكاملة للنشاط البشري عابرة لا أكثر؛ وذلك سواء قضينا على أنفسنا في القرون القليلة القادمة، أو قضت علينا كارثة طبيعية في الألفيات القليلة القادمة، أو بطريقة ما وجدنا سبيلًا للاستمرار حتى موت الشمس، ونهاية مجرّة درب التبانة، أو حتى زوال المادة المعقدة.

فنحن سريعو الفناء. نحن زائلون.

ومع ذلك، فإن لحظتنا نادرة واستثنائية، وهو إقرار يمكّننا من جعل سرعة زوال الحياة ونُدرة الوعي التأملي الذاتي أساسًا للقيمة وأساسًا للامتنان. وفي حين أننا قد نتوق إلى ترك إرث دائم، فإن الوضوح الذي نكتسبه من استكشاف الخط الزمني الكوني يكشف أن هذا بعيد المنال. بيد أن هذا الوضوح نفسه يؤكّد كم من المدهش تمامًا أن يكون بمقدور مجموعة صغيرة من جُسَيْمات الكون أن ترتفع، وتفحص نفسها والواقع الذي تسكنه، وتحدّد إلى أي مدى تتّصف بكونها سريعة الزوال، وبدفقة خاطفة من النشاط تخلق الجمال، وتُرسي الروابط، وتُلقي الضوء على الغموض.

المعنى

يتعامل معظمنا بهدوء مع الحاجة إلى الارتقاء بأنفسنا إلى ما وراء الحياة اليومية. ويسمح معظمنا للحضارة بأن تحمينا من إدراك أننا جزء من عالم سيواصل مسيرته بعد رحيلنا من دون أن يتأثر أبدًا. ونحن نركز طاقتنا على ما يمكننا التحكّم فيه. فنبني المجتمع، ونشارك، ونهتم، ونضحك، ونحتفي بما يستحق الاحتفاء به، ونقدّم السلوى، ونأسى، ونحب، ونحتفل، ونكرس أنفسنا، ونندم. ونشعر بالإثارة نتيجة تحقيق الإنجازات، وأحيانًا تكون إنجازاتنا، أو إنجازات أولئك الذين نحترمهم أو نجلّهم.

وخلال كل ذلك، صرنا معتادين على التطلّع إلى العالم لإيجاد شيء ما يثيرنا أو يهدّئنا، أو يجذب انتباهنا أو ينقلنا إلى مكان جديد. ومع ذلك، فإن الرحلة العلمية التي قطعناها تشير بقوة إلى أن الكون ليس موجودًا من أجل توفير ساحة لازدهار الحياة والعقل. فالحياة والعقل مجرَّد شيئين تصادَفَ حدوثهما. وسيأتي وقت لن يكون لهما وجود. اعتدت أن أتخيل أنه من خلال دراسة الكون، عن طريق تقشيره بالمعنى المجازي والحرفي، سنجيب على عدد كافٍ من الأسئلة المتعلّقة بكيفية حدوث الأمور، بما يمكّننا من رؤية الإجابات المتعلقة بسبب حدوثها. لكن كلما تعلمنا أكثر،

بدا أن هذا الموقف يوجّهنا نحو الاتجاه الخاطئ. إن التطلع إلى احتضان الكون لنا، نحن الكائنات الزائلة الواعية، هو أمر مفهوم، لكن ليس هذا ما يفعله الكون.

ومع ذلك، فإن رؤية لحظتنا داخل السياق تعني إدراك أن وجودنا مذهل. أعد تشغيل الانفجار العظيم، ولكن قم بتعديل موضع هذا الجُسَيْم أو قيمة هذا المجال تعديلًا طفيفًا، وعند إجراء أي تعديل فإن التطور الكوني الجديد لن يتضمّن وجودك، أو وجودي، أو وجود الجنس البشري، أو كوكب الأرض، أو أي شيء آخر نقدِّره بعمق. وإذا نظر ذكاء خارق إلى الكون الجديد ككل، تمامًا مثلما ننظر إلى مجموعة من البنسات المقذوفة ككل أو إلى الهواء الذي نتنفّسه الآن ككل، فسيخلص إلى أن الكون الجديد يبدو إلى حدٍّ كبير مماثلًا للكون الأصلي. بالنسبة لنا، سيكون الأمر مختلفًا تمامًا. فلن يكون «لنا» وجود كي نرصد أي شيء. وعن طريق تحويل انتباهنا بعيدًا عن التفاصيل الدقيقة، قدّمت الإنتروبيا مبدأ تنظيميًّا أساسيًّا لفهم الاتجاهات الواسعة النطاق في كيفية تحوّل الأشياء. ولكن في حين أننا لا نهتم عمومًا بما إذا كان هذا البنس قد استقر على وجه الصورة أو ما إذا كان ذاك البنس قد استقر على وجه الكتابة، أو ما إذا تصادف وجود جزيء أوكسجين معيَّن هنا أو هناك، فهناك بعض التفاصيل الدقيقة التي نهتم بها. نهتم بها اهتمامًا عميقًا. ونحن موجودون لأن ترتيباتنا الجُسَيْمية المحدَّدة فازت في المعركة ضد مجموعة مذهلة من الترتيبات الأخرى التي تتنافس جميعًا على التجسّد. وبفضل الصدفة العشوائية، التي توجّهها قوانين الطبيعة، نحن موجودون هنا.

يتردّد صدى هذا الإدراك عبر كل مرحلة من مراحل التطور البشري والكوني. فكر في ما وصفه ريتشارد دوكينز بالمجموعة اللانهائية تقريبًا من الأشخاص المحتمَلين، الذين كان من شأنهم حمل مجموعة لا نهائية تقريبًا من تسلسلات الأزواج القاعدية في الحمض النووي، والذين لن يولد أحد منهم على الإطلاق. أو فكر في اللحظات التي تشكّل التاريخ الكوني، من الانفجار العظيم حتى ولادتك وحتى يومنا هذا، ذلك التاريخ المليء بعمليات كَمّية كان من الممكن أن يؤدّي تقدمها الاحتمالي المستمر في كل مجموعة لا نهائية تقريبًا من المنعطفات إلى هذه النتيجة بدلًا من تلك، مما قد يؤدّي إلى كون معقول بنفس القدر ولكن لا وجود فيه لي أو لك[10]. ومع ذلك، في ضوء هذا العدد الفلكي من الاحتمالات، ورغم كل العقبات، توجد الآن تسلسلات الأزواج القاعدية الخاصة بي وبك، وتوجد مجموعات الجُسَيْمات الخاصة بي وبك. كم من المستبعد حدوث هذا، وكم من المذهل حدوثه.

ولا تزال الهدية أعظم: إذ تمنحنا تركيباتنا الجُزيئية الخاصة، وترتيباتنا الكيميائية والبيولوجية والعصبية المحدّدة، القوى التي نُحسَد عليها والتي شغلت الكثير من انتباهنا في الفصول السابقة. وفي حين أن معظم الحياة، المعجزة في حد ذاتها، مقيَّد بما

هو مباشر، فإن بمقدورنا أن نخطو خارج الزمن. فيمكننا التفكير في الماضي، وتخيّل المستقبل. ويمكننا استيعاب الكون، ومعالجته، واستكشافه بالعقل والجسد، بالمنطق والعاطفة. من ركننا الوحداني من الكون، استخدمنا الإبداع والخيال كي نشكّل الكلمات والصور والتراكيب والأصوات للتعبير عن أشواقنا وإحباطاتنا، وحيرتنا وإلهامنا، وإخفاقاتنا وانتصاراتنا. وقد استخدمنا البراعة والمثابرة للمس حدود الفضاء الخارجي والداخلي، وتحديد القوانين الأساسية التي تحكم كيف تسطع النجوم وينتقل الضوء، وكيف يمضي الزمن ويتمدّد الفضاء؛ وهي قوانين تمكننا من الرجوع إلى اللحظة التالية مباشرة على بداية الكون ثم تحويل أنظارنا وتأمل نهايته.

تصاحب هذه الأفكار المذهلة أسئلةٌ عميقة وملحة: لماذا يوجد شيء بدلًا من لا شيء؟ ما الذي أشعل جذوة الحياة؟ كيف نشأ الإدراك الواعي؟ استكشفنا مجموعة من التكهنات، لكن لا تزال الإجابات النهائية بعيدة المنال. ربما تكون أدمغتنا، المتكيّفة جيدًا مع البقاء على كوكب الأرض، غير مؤهلة لحل هذه الألغاز. أو ربما، بينما يستمر ذكاؤنا في التطور، سيكتسب تفاعلنا مع الواقع طابعًا مختلفًا تمامًا، مما يجعل الأسئلة البارزة اليوم تصير غير ذات صلة. وعلى الرغم من أن كلا الاحتمالين ممكن، فإن حقيقة أن العالم كما نفهمه الآن، بألغازه المتبقية وكل شيء، تتماسك أجزاؤه معًا بفضل الاتساق الرياضي والمنطقي المحكَم، وحقيقة أننا تمكّنا من فك شفرة الكثير من هذا الاتساق، توحي إليّ بأن الأمر ليس كذلك. فنحن لا نفتقر إلى القدرة العقلية. ونحن لا نحدّق في جدار أفلاطون، غافلين عن وجود نوع مختلف جذريًا من الحقيقة، بعيدًا عن منالنا، والقادرة على توفير وضوح جديد مذهل بصورة مفاجئة.

بينما نندفع نحو كون بارد وقاحل، علينا أن نقبل أنه لا وجود لتصميم عظيم. فالجُسَيْمات ليس لها غاية. ولا توجد إجابة نهائية تحوم في أعماق الفضاء وتنتظر اكتشافها. بدلًا من ذلك، باستطاعة مجموعات خاصة معينة من الجُسَيْمات أن تفكر وتشعر وتتأمّل، وداخل هذه العوالم الذاتية يمكنها أن تخلق الغاية. وهكذا، في خضمّ سعينا إلى فهم الحالة البشرية، يكون الاتجاه الوحيد للنظر هو إلى الداخل. ذلك هو الاتجاه النبيل للنظر. وهو اتجاه يحجم عن الإجابات الجاهزة ويتحوّل إلى الرحلة الشخصية لبناء المعنى الخاص بنا. وهو اتجاه يُفضي بنا إلى صميم التعبير الإبداعي ومصدر سردياتنا الأكثر صدى. إن العلم أداة قوية ورائعة لفهم الواقع الخارجي. لكن داخل هذا التشريع، داخل هذا الفهم، كل شيء آخر هو نتاج لتفكر النوع البشري في ذاته، واستيعاب ما يحتاجه من أجل الاستمرار، وسرد قصة يتردّد صداها في الظلام، قصة منحوتة من الصوت ومحفورة في الصمت، قصة، في أفضل صورها، تستثير الروح.

شكر وتقدير

أعرب عن امتناني إلى الأشخاص العديدين الذين قدَّموا ملاحظات لا تقدَّر بثمن خلال تأليفي هذا الكتاب. ولقراءة المخطوطة بعناية، أحيانًا أكثر من مرّة، وتقديم آراء وانتقادات واقتراحات عزَّزت أسلوب التقديم بشكل كبير، أدين بشكرٍ كبير إلى رافائيل جانر، وكين فينبرج، وترايسي داي، ومايكل دوجلاس، وساكشي دولاني، وريتشارد إيستر، وجوشوا جرين، وويندي جرين، ورافائيل كاسبر، واريك لوبفر، وماركوس بوسيل، وبوب شاي، ودورون ويبر. ولقراءة أقسام أو فصول معينة والرد عليها بعناية أو الإجابة على الاستفسارات، أشكر ديفيد ألبرت، وأندرياس ألبريشت، وباري باريش، ومايكل باسيت، وجيسي بيرينج، وبريان بويد، وباسكال بوير، وفيكي كارستينز، وديفيد تشالمرز، وجوديث كوكس، ودين إليوت، وجيريمي إنجلاند، وستيوارت فيرستين، ومايكل غرازيانو، وساندرا كاوفمان، وويل كيني، وأندريه ليندة، وآفي لوب، وسمير ماثور، وبيتر دي مينوكال، وبريان ميتزجر، وعلي موسامي، وفيل نيلسون، ومولِيك باريك، وستيفن بينكر، وآدم ريس، وبنيامين سميث، وشيلدون سولومون، وبول شتاينهاردت، وجوليو تونوني، وجون فالي، وأليكس فايلينكين. كما أشكر الفريق بأكمله في دار نشر «نوبف»، بما في ذلك محررة النسخ آمي رايان، والمحرر المساعد أندرو ويبر، والمصمم تشيب كيد، ومحررة الإنتاج ريتا مادريجال، والمحرر الخاص بي إدوارد كاستنماير، الذين قدموا العديد من الاقتراحات الثاقبة ودعموا، بالتعاون مع وكيلي، إريك سيمونوف، المشروع تمامًا في كل مرحلة من مراحل التطوير. وأخيرًا، أعرب عن خالص شكري وامتناني للحب الراسخ والدعم الذي تلقيته من عائلتي: والدتي ريتا جرين، وأشقائي، ويندي جرين، وسوزان جرين، وجوشوا جرين، وأبنائي، أليك داي جرين وصوفيا داي جرين، وزوجتي الرائعة وصديقتي العزيزة ترايسي داي.

الهوامش

تصدير

1. الاقتباس مأخوذ من أحد الموجّهين المبكرين لي، وهو طالب دراسات عليا في قسم الرياضيات بجامعة كولومبيا في السبعينيات يُدعى نيل بيلينسون، والذي أعطى الكثير من وقته وموهبته الفريدة لتعليم الرياضيات لطالب شاب -أنا- ليس لديه ما يقدمه بخلاف شغفه للتعلم. كنا نناقش ورقة تتناول الدافعية البشرية كنت أكتبها لمقرر علم النفس بجامعة هارفرد يقوم بتدريسه ديفيد بوس، الذي يعمل الآن في جامعة تكساس في أوستن.
2. انظر: Oswald Spengler, *Decline of the West* (New York: Alfred A. Knopf, 1986), 7.
3. المرجع السابق ص 166.
4. انظر: Otto Rank, *Art and Artist: Creative Urge and Personality Development,* trans. Charles Francis Atkinson (New York: Alfred A. Knopf, 1932), 39.
5. عبَّر سارتر عن هذا المنظور من خلال تأمّلاته لشخصية بابلو إيبيتا المحكوم عليه بالإعدام في قصته القصيرة الرائعة «الجدار». انظر: Jean-Paul Sartre, *The Wall and Other Stories,* trans. Lloyd Alex-ander (New York: New Directions Publishing, 1975), 12.

الفصل الأول: إغراء الخلود

1. انظر: William James, *The Varieties of Religious Experience: A Study in Human Nature* (New York: Longmans, Green, and Co., 1905), 140.
2. انظر: Ernest Becker, *The Denial of Death* (New York: Free Press, 1973), 31. وقد نسب بيكر الفضل إلى أوتو رانك لكونه صاحب التأثير الأكبر عليه.
3. انظر: Ralph Waldo Emerson, *The Conduct of Life* (Boston and New York: Houghton Mifflin Company, 1922), note 38, 424.
4. يستحضر إ. و. ويلسون كلمة «التوافق» كي يصف رؤيته المتعلّقة بتلاقي المعارف المتباينة من أجل تقديم فهم أعمق. انظر: E. O. Wilson, *Consilience: The Unity of Knowledge* (New York: Vintage Books, 1999).
5. في الفصول الأخيرة سأناقش الأدلة التي تشير إلى وجود تأثير منتشر للوعي البشري البازغ بالفناء، ولكن نظرًا لندرة البيانات الحاسمة التي تثبت عقلية الإنسان القديم، فإن الاستنتاج ليس مقبولًا على نطاق واسع. وللاطلاع على منظور بديل يقضي بأن القلق من الموت بلاء حديث، انظر على سبيل المثال: Philippe Ariès, *The Hour of Our Death,* trans. Helen Weaver (New York: Alfred A. Knopf, 1981). وتقضي وجهة نظر بيكر، المبنية على أفكار أوتو رانك، بأن القلق من

الموت مغروس بعمق في نوعنا.

6. انظر: Vladimir Nabokov, *Speak, Memory: An Autobiography Revisited* (New York: Alfred A. Knopf, 1999), 9.
7. انظر: Robert Nozick, «Philosophy and the Meaning of Life,» in *Life, Death, and Meaning: Key Philosophical Readings on the Big Questions,* ed. David Benatar (Lanham, MD: The Rowman & Littlefield Publishing Group, 2010), 73-74.
8. انظر: Emily Dickinson, *The Poems of Emily Dickinson,* reading ed., ed. R. W. Franklin (Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press, 1999), 307.
9. انظر: Henry David Thoreau, *The Journal, 1837-1861* (New York: New York Review Books Classics, 2009), 563.
10. انظر: Franz Kafka, *The Blue Octavo Notebooks,* trans. Ernst Kaiser and Eithne Wilkens, ed. Max Brod (Cambridge, MA: Exact Change, 1991), 91.

الفصل الثاني: لغة الزمن

1. كان البث، المذاع على البرنامج الثالث لراديو هيئة الإذاعة البريطانية، في 28 يناير 1948 في الساعة9:45 مساءً، عبارة عن مناظرة جرت حوادثها في العام السابق. انظر: https://genome.ch.bbc.co.uk/35b8e9bdcf60458c976b882d80d9937f.
2. انظر: Bertrand Russell, *Why I Am Not a Christian* (New York: Simon & Schuster, 1957), 32-33.
3. هذا بالطبع وصف مفرط في التبسيط للمحرك البخاري، مبني على ما يسمى بدورة كارنو، التي تتضمن أربع خطوات: (1) يمتص البخار الموجود في علبة الحرارة من مصدر (يوصف عمومًا بأنه خزان حرارة) أثناء دفعه ضد المكبس، وبذا يبذل شغلًا عند درجة حرارة ثابتة. (2) يتم فصل العلبة عن مصدر الحرارة والسماح لها بالاستمرار في دفع المكبس، الذي يبذل الآن شغلًا مع انخفاض درجة حرارة البخار (غير أن الإنتروبيا الخاصة به ثابتة، نظرًا لعدم وجود تدفق حراري). (3) يتم توصيل العلبة بعد ذلك بخزان حرارة ثانٍ، عند درجة حرارة أقل من الأول، ويُبذَل الشغل عند درجة الحرارة المنخفضة هذه لإرجاع المكبس إلى موضعه الأصلي، مما يؤدي إلى طرد الحرارة الزائدة في هذه العملية. (4) أخيرًا، تُفصَل العلبة عن خزان المبرد بينما يستمر بذل الشغل على المكبس لإكمال رحلته عودةً إلى موقعه الأصلي، بينما يتم رفع درجة حرارة البخار إلى قيمته الأصلية أيضًا. ثم تبدأ الدورة مجددًا. في المحرك البخاري الفعلي -وخلافًا للمحرك النظري الذي نقوم بتحليله رياضيًّا- يتم إنجاز هذه الخطوات، أو الخطوات المقابلة لها، بطرق متنوعة تُمليها مقتضيات الهندسة والتطبيق العملي.
4. انظر: Sadi Carnot, *Reflections on the Motive Power of Fire* (Mineola, NY: Dover Publications, Inc., 1960).
5. تعد نمذجة كرة البيسبول كجُسَيْم واحد ضخم من دون بنية داخلية تقريبًا إجماليًّا لكرة البيسبول نفسها. ومع ذلك، فإن تطبيق قوانين نيوتن على هذا النموذج التقريبي لكرة البيسبول ينتج الحركة

الكلاسيكية الدقيقة عينها لمركز كتلة كرة البيسبول. وبالنسبة إلى حركة مركز الكتلة، يضمن قانون نيوتن الثالث أن تلغي جميع القوى الداخلية بعضها بعضًا، ومن ثَم تعتمد حركة مركز الكتلة فقط على القوى الخارجية المبذولة.

6. خلصت إحدى الدراسات (B. Hansen, N. Mygind, «How often do normal persons sneeze and blow the nose?» *Rhinology* 40, no. 1 [Mar. 2002]: 10-12) إلى أن الشخص يعطس في المتوسط نحو مرة واحدة في اليوم. ونظرًا إلى وجود نحو 7 مليارات شخص على وجه الأرض، فإن هذا ينتج 7 مليارات عطسة في جميع أنحاء العالم يوميًا. وفي وجود نحو86,000 ثانية في اليوم، نجد أن هناك نحو80,000 عطسة في الثانية في جميع أنحاء العالم.

7. الوصف الذي قدمته مقبول باعتباره ملخصًا عامًا، ولكن هناك أنظمة فيزيائية أشد غرابة يجب فيها، من أجل ضمان سماح قوانين الفيزياء بتسلسلات التشغيل العكسي، علينا إخضاع النظام لتعديلين آخرين بخلاف انعكاس الزمن: إذ يجب علينا أيضًا عكس شحنات جميع الجُسَيْمات (ما يسمى *اقتران الشحنة*) وأيضًا عكس اتجاه اليد اليسرى واليمنى (ما يسمى عكس *التكافؤ*). تحترم قوانين الفيزياء، كما نفهمها حاليًا، بالضرورة اقتران كل هذه الانعكاسات الثلاثة، وهو ما يُعرف باسم نظرية تناظر الشحنة والتكافؤ وانعكاس الزمن أو *CPT theorem*.

8. للحصول على وجهي كتابة، العملية الحسابية هي: $4,950 = 2/(99 \times 100)$، وللحصول على ثلاثة أوجه كتابة، العملية هي: $161,700 = !3/(98 \times 99 \times 100)$، وللحصول على أربعة أوجه كتابة، العملية هي: $3,921,225 = !4/(97 \times 98 \times 99 \times 100)$، وللحصول على خمسة أوجه كتابة، العملية هي: $75,287,520 = !5/(96 \times 97 \times 98 \times 99 \times 100)$، وللحصول على 50 وجه كتابة، العملية هي $100,891,344,545,564,193,334,812,497,256 = (100!/(50!)^2)$.

9. بتعبير أدق، الإنتروبيا هي *لوغاريتم* عدد الأعضاء في أي مجموعة معينة، وهو تمييز رياضي أساسي يضمن أن يكون للإنتروبيا خصائص فيزيائية معقولة (على سبيل المثال، عندما يتم الجمع بين نظامين معًا، نجمع الإنتروبيا الخاصة بهما معًا)، ولكن بالنسبة إلى مناقشتنا النوعية هنا يمكننا تجاهله بأمان. وفي أجزاء من الفصل العاشر، سنستخدم ضمنًا التعريف الأدق، لكن لا بأس باستخدام التعريف العام هنا.

10. في هذا المثال، وتحريًا للسهولة التعليمية، سنتدبر فقط البخار – جزيئات H_2O – الذي يملأ حمامك. وسوف نتجاهل دور الهواء وأي مواد أخرى موجودة. وعلى سبيل التبسيط، سنتجاهل أيضًا البنية الداخلية لجزيئات الماء ونعاملها كجُسَيْمات نقطية عديمة البنية. وعندما نشير إلى درجة حرارة البخار، ضع في اعتبارك أن الماء السائل يتحوّل إلى بخار عند 100 درجة مئوية، ولكن بمجرد تكوين البخار فمن الممكن أن ترتفع درجة حرارته أكثر.

11. فيزيائيًا، تتناسب درجة الحرارة تناسبًا طرديًا مع متوسط الطاقة الحركية للجُسَيْمات، وبذا يجري حسابها رياضيًا عن طريق حساب متوسط مربع سرعة كل جُسَيْم. ولأغراضنا هنا، من الملائم التفكير في درجة الحرارة من منظور متوسط السرعة، أي مقدار السرعة.

12. بتعبير أدق، يعد القانون الأول للديناميكا الحرارية نسخةً من قانون الحفاظ على الطاقة الذي (1) يعترف بالحرارة كشكل من أشكال الطاقة؛ و(2) يأخذ في الاعتبار الشغل المنجز بواسطة

نظام معين أو عليه. وبذا فإن حفظ الطاقة ينص على أن التغير في الطاقة الداخلية للنظام ينشأ من الفرق بين صافي الحرارة الذي يمتصها والشغل الصافي الذي يقوم به. وقد يلاحظ القارئ المطلع بشكل خاص أنه عندما نفكر في الطاقة والحفاظ عليها في بيئة عالمية -عبر الكون بأكمله- تظهر فروقات دقيقة. لن نحتاج إلى استكشاف هذه الفروقات، لذا يمكننا أن نفترض بأمان صحة العبارة البسيطة المباشرة القائلة بأن الطاقة محفوظة.

13. كما هو الحال في مثال البخار في حمامك، الذي تجاهلتُ فيه جزيئات الهواء، فمن أجل تحري البساطة لن أتدبر صراحة الاصطدامات بين الجزيئات الساخنة التي تطلقها عملية الخَبز وجزيئات الهواء الأبرد التي تتدفق عبر مطبخك وعبر بقية منزلك. ستؤدّي مثل هذه الاصطدامات، في المتوسط ، إلى زيادة سرعة جزيئات الهواء وتقليل سرعة الجزيئات التي تطلقها عملية الخَبز، مما يؤدي في النهاية إلى وصول كلا نوعيّ الجزيئات إلى درجة الحرارة نفسها. ستعمل درجة الحرارة المنخفضة لجزيئات الخبز على خفض الإنتروبيا الخاصة بها، لكن زيادة درجة حرارة جزيئات الهواء ستؤدي إلى تعويض الزيادة في الإنتروبيا وأكثر، ومن ثم فإن الإنتروبيا المجمّعة لكلتا المجموعتين ستزداد بالفعل. في النسخة المبسطة التي وصفتُها، يمكنك التفكير في متوسط سرعة الجزيئات التي تطلقها عملية الخَبز على أنها ثابتة أثناء انتشارها، وهكذا ستظل درجة حرارتها ثابتة، ومن ثم فإن الزيادة في الإنتروبيا الخاصة بها ستكون بسبب أنها تشغل حجمًا أكبر.

14. بالنسبة إلى القارئ ذي المعرفة الرياضية، هناك افتراض فني أساسي تقوم عليه هذه المناقشة (علاوة على جُل معالجات الميكانيكا الإحصائية في الكتب المدرسية وفي الأدبيات البحثية). بالنسبة إلى أي حالة عيانية، توجد حالات متناهية الصغر متوافقة ستتطور نحو ترتيبات ذات إنتروبيا منخفضة. على سبيل المثال، تدبر النسخة المعكوسة زمنيًا لأي تطور أدى إلى ظهور حالة معينة متناهية الصغر انطلاقًا من ترتيب سابق منخفض الإنتروبيا. سوف تتطوّر هذه الحالة المتناهية الصغر «المعكوسة زمنيًا» نحو إنتروبيا أقل. وبشكل عام، نصنّف هذه الحالات المتناهية الصغر على أنها «نادرة» أو «عالية الضبط». رياضيًا، يتطلب هذا التصنيف تحديد مقياس عبر فضاء الترتيبات. في المواقف المألوفة، يؤدّي استخدام المقياس الموحد في هذا الفضاء إلى جعل الظروف الأولية المخفضة للإنتروبيا «نادرة»، أي على نطاق صغير. ومع ذلك، وفقًا لمقياس تم اختياره للوصول إلى الذروة حول مثل هذه التكوينات الأولية المخفضة للإنتروبيا، فإنها لن تكون نادرة نتيجة التصميم. وعلى حد علمنا، فإن اختيار المقياس هو أمر تجريبي، وبالنسبة إلى أنواع الأنظمة التي نقابلها في الحياة اليومية، ينتج عن المقياس الموحد تنبوءات تتفق مع الملاحظات، وهو ما ينطبق كذلك على المقياس الذي نعتمد عليه. لكن من المهم ملاحظة أن اختيار المقياس له ما يبرره من خلال التجربة والملاحظة. وعندما نفكّر في المواقف الغريبة (مثل الكون المبكر) التي نفتقر فيها إلى بيانات مماثلة تقودنا إلى اختيار معيّن للمقياس، فإننا نحتاج إلى الإقرار بأن حدسنا حول ما هو «نادر» أو «عام» ليس له نفس الأساس التجريبي.

15. هناك بضع نقاط ذات صلة، تغاضت عنها هذه الفقرة، والتي تؤثر على معنى حالة «الإنتروبيا القصوى» عند تطبيقها على الكون. أولًا، في هذا الفصل لا نضع في الاعتبار دور الجاذبية. وسنفعل ذلك في الفصل الثالث. وكما سنرى، فإن للجاذبية تأثيرًا عميقًا على طبيعة ترتيبات

الجُسَيْمات العالية الإنتروبيا. في الواقع، في حين لن يكون تركيزنا منصبًا على هذا الأمر، ألّا أنه في أي حجم محدود من الفضاء، يكون الترتيب ذو الإنتروبيا القصوى هو ثقب أسود -جسم يعتمد بشدة على الجاذبية- يملأ الحيز المكاني تمامًا (للحصول على التفاصيل، انظر، على سبيل المثال، كتابي «نسيج الكون»، الفصل 6 والفصل 16). ثانيًا، إذا تدبّرنا مناطق كبيرة للغاية من الفضاء -بل وكبيرة بشكل لا نهائي- فإن الترتيبات ذات الإنتروبيا القصوى لأي كمية معينة من المادة والطاقة هي تلك التي يتم فيها توزيع الجُسَيْمات المكونة (المادة أو الإشعاع أو كليهما) بشكل متجانس على حجم متزايد. وفي الواقع، وكما سنناقش في الفصل العاشر، فإن الثقوب السوداء ستتبخّر في نهاية المطاف (من خلال عملية اكتشفها ستيفن هوكينغ)، مما ينتج ترتيبات عالية الإنتروبيا تنتشر فيها الجُسَيْمات بشكل متزايد. ثالثًا، وبما يتفق مع أغراض هذا القسم، الحقيقة الوحيدة التي نحتاجها هي أن الإنتروبيا الموجودة حاليًا في أي حيز معين من الفضاء ليست في قيمتها القصوى. وإذا احتوى هذا الحيز، مثلًا، على الغرفة التي تسكنها الآن، فإن الإنتروبيا ستزداد إذا سقطت الجُسَيْمات التي تتكون منها أنت وأثاثك وأيًا من البنى المادية للغرفة في ثقب أسود صغير، والذي من شأنه أن يتبخر في ما بعد مُنتجًا جُسَيْمات ستنتشر عبر حيز أكبر من الفضاء. إن وجود بنى مادية مثيرة للاهتمام -كالنجوم، والكواكب، والحياة، وما إلى ذلك- يعني في حد ذاته أن الإنتروبيا أقل مما يمكن أن تكون عليه. وهذه الترتيبات الخاصة وذات الإنتروبيا المنخفضة هي التي تحتاج إلى تفسير لكيفية ظهورها. وسنتصدى إلى هذا التحدي في الفصل التالي.

16. للقارئ المجتهد بشكل خاص، هناك تفصيلة إضافية تستحق التوضيح. عندما يضغط البخار على المكبس، فإنه يستهلك بعضَ الطاقة التي امتصها من الوقود، ولكن في هذه العملية لا يتخلى البخار عن أي من الإنتروبيا الخاصة به للمكبس (بافتراض أن المكبس له نفس درجة حرارة البخار). فعلى أي حال، ليس لوجود المكبس في هذا الموضع، أو في موضع آخر قريب بعد تحركه لمسافة قصيرة، أي تأثير على نظامه أو اضطرابه الداخليين؛ إذ لم تتغير الإنتروبيا الخاصة به. وفي ضوء عدم انتقال الإنتروبيا إلى المكبس، تظل الإنتروبيا بالكامل داخل البخار نفسه. هذا يعني أنه مع إعادة المكبس إلى موضعه الأصلي، بحيث يكون جاهزًا للدفع التالي، يجب أن يطرد البخار بطريقة ما كل الإنتروبيا الزائدة التي يؤويها. ويتحقّق ذلك، كما تم التأكيد عليه في الفصل، بواسطة المحرك البخاري الذي يطرد الحرارة إلى محيطه.

17. انظر: Bertrand Russell, *Why I Am Not a Christian* (New York: Simon & Schuster, 1957), 107.

الفصل الثالث: البدايات والإنتروبيا

1. Georges Lemaître, «Recontres avec Einstein,» *Revue des questions scientifiques* 129 (1958): 129-32.

2. تضمّنت القصة الكاملة لتحول أينشتاين إلى كون متمدّد عاملين. أولًا، أثبت آرثر إدينجتون رياضيًا أن مُقترَح أينشتاين السابق المتعلق بالكون الثابت عانى من عيب تقني: إذ الحل كان غير مستقر، مما يعني أنه إذا دُفع حيز الفضاء إلى التمدّد قليلًا، فسيستمر في التمدد، وإذا دُفع إلى الانكماش

قليلًا، فسيستمر في الانكماش. ثانيًا، أوضحت المشاهدات، كما نوقشت في هذا الفصل، بشكل متزايد أن الفضاء ليس ثابتًا. وعن طريق هذين الإدراكين معًا اقتنع أينشتاين بالتخلي عن فكرة الكون الثابت (على الرغم من أن البعض ذهب إلى أن الاعتبارات النظرية ربما كان لها التأثير الأكبر). للتعرف على تفاصيل هذا التاريخ، انظر:

Harry Nussbaumer, «Einstein's conversion from his static to an expanding universe,» *European Physics Journal—History* 39 (2014): 37-62.

3. انظر: Alan H. Guth, «Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems,» Physical Review D 23 (1981): 347. المصطلح التقني لـ«الوقود الكوني» هو المجال *السُّلَّمي*. وخلافًا للمجالات الكهربائية والمغناطيسية الأكثر شيوعًا التي توفّر متجهًا في كل موقع في الفضاء (حجم واتجاه المجال الكهربائي أو المغناطيسي في الموقع)، يوفر المجال السُّلمي رقمًا واحدًا فقط في كل موقع في الفضاء (أرقام يمكن من خلالها تحديد طاقة المجال وضغطه). لاحظ أن ورقة جوث، والعديد من المعالجات اللاحقة، تؤكد على دور التضخم في معالجة مجموعة من القضايا الكونية التي أعاقت الباحثين سابقًا؛ وأبرزها مشكلة أحادية القطب، ومشكلة الأفق، ومشكلة التسطّح. وللاطلاع على مناقشة كاشفة وسهلة الاستيعاب لهذه القضايا، انظر: Alan Guth، The Inflationary Universe (New York: Basic Books، 1998). واقتداءً بجوث، أود تحفيز التضخم عن طريق إثارة المشكلة الأكثر بديهية المتمثلة في تحديد الدفعة الخارجية الذي دشنت التمدد المكاني للانفجار العظيم.

4. يحدث التبريد الذي أشير إليه بعد أن تلاشت الدفعة التضخمية ودخل الكون في مرحلة تمدّد مكاني أقل سرعة ولكنها مهمة. وتحرّيًا للتبسيط، أغفلت ذكر بعض الخطوات الوسيطة في التطور الكوني. لقد برد الكون المبكر لأن الكثير من الطاقة التي يحويها كانت محمولة بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية، وهذه الموجات تستطيل مع تمدد الفضاء. وهذه الاستطالة للموجات الكهرومغناطيسية -ما يسمى بالانزياح الأحمر للإشعاع- تقلل من طاقتها وتخفض درجة حرارتها الإجمالية. لاحظ، مع ذلك، أنه على الرغم من برودة درجة الحرارة، فإن الإنتروبيا الكلية تزداد بسبب اتساع حجم الفضاء.

5. هناك منظور يتبناه القليلون ويعزو الضباب إلى قصور كمي جوهري في دقة القياسات وليس إلى أن الواقع ذاته ضبابي في جوهره. وفي هذا النهج -الذي يُطلق عليه عادةً «الميكانيكا البومية» نسبةً إلى الفيزيائي ديفيد بوم، ولكن يشار إليه أحيانًا باسم «نظرية دي بروي-بوم»، بحيث يشير الاسم إلى لويس دي بروي الحائز على جائزة نوبل- تحتفظ الجُسَيْمات بمسارات محددة وقاطعة. وتختلف المسارات عن تلك التي تنبأت بها الفيزياء الكلاسيكية (فهناك قوة كمية إضافية تؤثر على الجُسَيْمات خلال حركتها)، ولكن باستخدام اللغة الواردة في الفصل، من الممكن رسم هذه المسارات بريشة حادة. يظهر عدم اليقين والغموض في الصياغة الأكثر تقليدية لميكانيكا الكم على هيئة عدم يقين إحصائي يتعلّق بالظروف الأولية لأي جُسَيْم بعينه. وعلى الرغم من أن الاختلاف بين المنظورين ضروري لصورة الواقع التي ترسمها كل نظرية، لكن ليس له أي تأثير فعلي على التنبوءات الكمية.

6. علم الكونيات التضخمي هو إطار من عدة نظريات –وليس نظرية واحدة محددة– وهذه النظريات مبنية على فرضية أنه خلال مرحلة مبكرة من تطور الكون، مر الكون بفترة وجيزة من التمدد الخاطف المتسارع. وتتباين الطريقة الدقيقة التي نشأت بها هذه المرحلة والتفاصيل الدقيقة لسيرها من صياغة رياضية إلى أخرى. وتتعارض أبسط النسخ مع البيانات الرصدية المتزايدة الدقة، وهو ما حوّل التركيز إلى نسخ أكثر تعقيدًا إلى حد ما من النظرية التضخّمية. ويذهب المتقدون إلى أن النسخ الأكثر تعقيدًا أقل إقناعًا، كما أنها تُظهر أن النموذج التضخمي مرن أكثر مما ينبغي بحيث لن تستطيع أي بيانات استبعاده. أما المؤيدون فيرون أن كل ما نشهده هو التقدّم الطبيعي للعلم: إذ نقوم باستمرار بتعديل نظرياتنا لجعلها تتماشى مع المعلومات الأدق التي توفّرها القياسات الرصدية والاعتبارات الرياضية. وبشكل عام، وبعبارات أكثر تخصصًا، ثمة عبارة يتبنّاها علماء الكونيات على نطاق واسع مفادها أن الكون مر بمرحلة قل فيها حجم الأفق المساير. الأمر الأقل وضوحًا هو ما إذا كانت هذه المرحلة موصوفة بشكل صحيح من خلال علم الكونيات التضخمي، الذي فيه يتم دفع الديناميكيات بواسطة الطاقة المتجانسة التي تتخلل الفضاء ويوفرها مجال سُلَّمي (انظر الملاحظة 3 من هذا الفصل)، كما وصفت، أو ما إذا كانت هذه المرحلة قد نشأت عبر آلية مختلفة (مثل علم الكونيات المرتد، أو تضخم الغشاء، أو تصادم العوالم الغشائية، أو نظريات السرعة المتغيرة للضوء، من بين أمور أخرى اقترحها الفيزيائيون). وسنناقش في الفصل العاشر بإيجاز إمكانية ارتداد الكون، كما طورها بول شتاينهاردت ونيل تورك والعديد من معاونيهم، والتي فيها يخضع الكون لدورات عديدة من التطور الكوني.

7. بالنسبة إلى القارئ المجتهد بشكل خاص، اسمحوا لي بالتطرق إلى نقطة مهمة تلقي بظلالها على هذه المناقشة. إذا كان كل ما تعرفه عن نظام فيزيائي ما هو أنه يحتوي على قدر من الإنتروبيا يقل عن الإنتروبيا القصوى المتاحة، فإن القانون الثاني للديناميكا الحرارية يسمح لك باستخلاص استنتاجين وليس استنتاجًا واحدًا فقط، وهما: إن التطور الأكثر ترجيحًا للنظام نحو المستقبل سوف يزيد من الإنتروبيا وكذلك إن التطور الأكثر ترجيحًا للنظام نحو الماضي سوف يزيد من الإنتروبيا أيضًا. هذه هي مشكلة القوانين التي تتسم بالتناظر الزمني؛ أي المعادلات التي تعمل بالطريقة نفسها تمامًا، سواء أكانت حالة اليوم تتطوّر نحو المستقبل أو نحو الماضي. ويكمن التحدي في أن الماضي ذا الإنتروبيا الأعلى الذي تؤدّي إليه مثل هذه الاعتبارات لا يتوافق مع الماضي ذي الإنتروبيا الأقل الذي تشهد عليه الذاكرة والسجلات. (نتذكّر أن مكعبات الثلج الذائبة جزئيًا كانت أقل ذوبانًا في السابق، وبذا كانت تحوي إنتروبيا أقل، وليست أكثر ذوبانًا، وهو ما سيمثل إنتروبيا أعلى). وبشكل أوضح، من شأن الماضي المرتفع الإنتروبيا أن يقوّض ثقتنا في قوانين الفيزياء ذاتها لأن مثل هذا الماضي لن يشمل التجارب والمشاهدات التي تدعم القوانين نفسها. ولتجنب فقدان الثقة هذا في فهمنا، علينا أن نفرض ماضيًا منخفض الإنتروبيا. ونقوم بهذا، بشكل عام، من خلال تقديم افتراض جديد، أطلق عليه الفيلسوف ديفيد ألبرت اسم *فرضية الماضي*، والتي تنص على أن قيمة الإنتروبيا كانت منخفضة بالقرب من الانفجار العظيم وأنها ازدادت في المتوسط منذ ذلك الحين. هذا هو النهج الذي اتبعناه ضمنيًا في هذا الفصل. وفي الفصل العاشر، سنحلّل صراحةً الاحتمال غير المرجح، ولكن الممكن تصوّره، المتمثل في

انبثاق حالة إنتروبيا منخفضة من ترتيب سابق مرتفع الإنتروبيا. وللحصول على معلومات أساسية ومزيد من التفاصيل، راجع الفصل السابع من كتاب «نسيج الكون».

8. التوصيفات الرياضية للإنتروبيا تجعل هذا الأمر دقيقًا: داخل أي منطقة، توجد طرق عديدة من الممكن أن تتباين بها قيمة المجال (بحيث تكون أعلى في هذا الموضع، وأدنى في ذاك، وأدنى كثيرًا في موضع ثالث، وهكذا)، وهي أكثر من الطرق التي يتجانس بها (بحيث يمتلك نفس القيمة في كل موقع)، وبذا فإن الظروف المطلوبة لها إنتروبيا منخفضة. ومع ذلك، هناك افتراض فني خفي من المهم توضيحه. وتحريًا للتيسير، سأستخدم اللغة الكلاسيكية، غير أن الاعتبارات لها ترجمة مباشرة إلى فيزياء الكم. في العالم المتناهي الصغر، لا يتمايز أي ترتيب بعينه للجُسَيْمات أو المجالات بشكل جوهري عن أي ترتيب آخر، ولذا فإننا نعتبر عمومًا أن كل ترتيب منها مرجّح كسواه. غير أن هذا الافتراض يعتمد على ما يسميه الفلاسفة *مبدأ الحياد*، ويقضي بأنه في غياب أي دليل مسبق يميز ترتيبًا متناهي الصغر عن آخر، فإننا نعزو لكل الترتيبات احتمالات متساوية للتحقّق. وعندما نحول تركيزنا إلى العالم العياني، فإن احتمالية وجود حالة عيانية واحدة مقابل أخرى يتم تحديدها من خلال نسبة عدد الحالات المتناهية الصغر التي تنتج كل حالة منهما. وإذا عدد الحالات المتناهية الصغر التي تنتج إحدى الحالات العيانية ضعف عدد الحالات التي تنتج حالة أخرى، فستكون احتمالية حدوث هذه الحالة العيانية ضعف الأخرى.

ومع ذلك، لاحظ أن تبرير مبدأ الحياد يجب أن يكون قائمًا بشكل جوهري على أساس تجريبي. في الواقع، تؤكد الخبرة المشتركة صحة المبدأ في العديد من الاستخدامات لمبدأ الحياد، رغم كونها ضمنية. خذ مثالنا الخاص بالبنسات المقذوفة. من خلال افتراض أن كل «حالة متناهية الصغر» للعملات المعدنية (أي حالة تتحدّد من خلال سرد وضع كل عملة، مثل العملة 1 تستقر على وجه الصورة، والعملة 2 على وجه الكتابة، والعملة 3 على وجه الكتابة، وهكذا دواليك)، مرجّحة بنفس الدرجة مثلها مثل أي حالة أخرى، نستنتج أن تلك الترتيبات «العيانية» (الحالات التي تتحدّد فقط من خلال إعطاء العدد الإجمالي للصور والكتابة، وليس أوضاع العملات المنفردة)، التي يمكن تحقيقها بواسطة العديد من الحالات المتناهية الصغر هي الأكثر ترجيحًا. وعندما نقذف العملات، يتم تأكيد هذا الافتراض تجريبيًّا من خلال ندرة تلك النتائج التي لا يمكن تحقيقها ألّا من خلال عدد قليل من الحالات المتناهية الصغر (مثل استقرار كل البنسات على وجه الصورة) وشيوع تلك التي يمكن تحقيقها من قبل عدد كبير من الحالات المتناهية الصغر (كأن تستقر نصف العملات على وجه الصورة ونصفها على وجه الكتابة).

وجه الصلة بين هذا ومناقشتنا الكونية هي أنه عندما نقول إن وجود رقعة متجانسة من مجال التضخم «غير مرجح»، فإننا بالمثل نستدعي مبدأ الحياد. فنحن نفترض ضمنيًّا أن كل ترتيب متناهي الصغر للمجال (القيمة الدقيقة للمجال في كل موقع) محتمل مثل أي ترتيب آخر، ومجددًا، تتناسب احتمالية أي ترتيب عياني طرديًّا مع عدد الحالات المتناهية الصغر التي تحققه. ومع ذلك، وخلافًا للبنسات المقذوفة، ليس لدينا أي دليل تجريبي يدعم هذا الافتراض. وحقيقة أن الأمر يبدو معقولًا قائمة على خبرتنا في العالم العياني اليومي حيث تدعم المشاهدات مبدأ الحياد. لكن بالنسبة إلى تطور الحوادث في الكون، نحن مطّلعون على خبرة واحدة فقط. وقد

يخلص نهج تجريبي صارم إلى أنه على الرغم من أن بعض الترتيبات الخاصة قد تبدو قائمة على مبدأ الحياد، فإذا أدت إلى الكون الذي نرصده، عندئذ سيجري تمييزها وتستحق، كفئة قائمة بذاتها، ألّا يطلق عليها أنها «مرجّحة» وحسب، ولكن توصف بأنها «محدّدة» (مع مراعاة الطبيعة المشروطة المعتادة لجميع التفسيرات العلمية). ومن الناحية الحسابية، يُعرَف مثل هذا التحول في ما نصفه بالمرجح وغير المرجح بأنه تغير في المقياس عبر فضاء الترتيبات (انظر الفصل الثاني، الملاحظة رقم 14). ويوصف المقياس الأولي، الذي يعزو احتمالات متساوية لكل ترتيب محتمل، بأنه مقياس «مستوٍ». وبذا يمكن أن تشجع المشاهدات إدخال مقياس «غير متساوٍ» يميز فئات معينة من الترتيبات باعتبارها أكثر ترجيحًا.

ليس الفيزيائيون راضين بشكل عام عن مثل هذا النهج. فاستحداث مقياس عبر فضاء الترتيبات لضمان إعطاء الوزن الأكبر لتلك الترتيبات التي تؤدي إلى العالم كما نعرفه يبدو في نظر الفيزيائيين أمرًا «غير طبيعي». يبحث الفيزيائيون عن بنية رياضية جوهرية من المبادئ الأولى، والتي ستنتج مثل هذا القياس كأحد المخرجات بدلًا من تضمينه كأحد المدخلات. ومن القضايا المهمة ما إذا كان هذا يعني أننا نطلب أكثر مما ينبغي، وما إذا كان النجاح من شأنه ببساطة أن يزيح السؤال خطوة واحدة إلى الوراء إلى الافتراضات الضمنية التي يقوم عليها أي نهج للمبادئ الأولى. ليست هذه المخاوف مبالغًا فيها. فكثير من العمل النظري المبذول في فيزياء الجُسَيْمات على مدى الثلاثين عامًا الماضية كان موجهًا لمعالجة قضايا الضبط الدقيق في أدق نظرياتنا (الضبط الدقيق لمجال هيجز في النموذج القياسي لفيزياء الجُسَيْمات، والضبط الدقيق المطلوب لمعالجة مشكلات الأفق والتسطح في علم الكونيات القياسي). من المؤكد أن هذا البحث أدى إلى رؤى عميقة في كل من فيزياء الجُسَيْمات وعلم الكونيات، ولكن هل يمكن أن نصل إلى نقطة يتعيّن علينا فيها ببساطة قبول بعض سمات العالم كما هي، من دون تفسير أعمق؟ أفضِّل الاعتقاد بأن الإجابة هي لا، ويشاركني هذا الرأي العديد من زملائي. لكن ليس هناك ما يضمن أن هذا ما سيكون عليه الحال.

9. أندريه لينده، مراسلات خاصة، 15 يوليو 2019. يتمثّل النهج المفضّل لدى لينده في أن تبدأ المرحلة التضخمية من خلال حدث انتقال كمي من عالم به جميع الأشكال الهندسية والمجالات الممكنة، عالم قد لا تكون مفاهيم الزمن ودرجة الحرارة ذاتها لها معنى بعد. ومن خلال الاستخدام الحكيم لمبادئ الكم الشكلية، ذهب لينده إلى أن الخلق الكمي للظروف التي تؤدّي إلى التمدّد التضخمي قد يكون عملية شائعة في الكون المبكر ولا تعاني من الكبح الكمي.

10. من الطبيعي أن نفكّر أنه كلما زادت قوة التيليسكوب (كلما كبر حجم الطبق، وزاد حجم المرآة، وما إلى ذلك)، ازدادت قدرته على رصد أجرام أبعد. ولكن هناك حدًّا لذلك. فإذا كان الجرم بعيدًا جدًّا إلى درجة أن الضوء المنبعث منه منذ ولادته لم يتح له الوقت الكافي للوصول إلينا بعد، فبصرف النظر عن المعدات التي نستخدمها لن نتمكّن من رؤيته. ونقول إن هذه الأجرام تقع خارج *أفقنا الكوني*، وهو مفهوم سيلعب دورًا مهمًّا بشكل خاصٍّ في مناقشتنا للمستقبل البعيد في الفصلين التاسع والعاشر. وفي علم الكونيات التضخّمي، يتمدّد الفضاء بسرعة كبيرة بحيث يتم دفع المناطق الخارجية بالفعل إلى ما وراء أفقنا الكوني.

11. استنادًا إلى أدلة غير مباشرة (حركة النجوم والمجرّات)، هناك إجماع واسع على أن الفضاء مليء بجزيئات المادة المظلمة؛ وهي جُسَيْمات تمارس قوة الجاذبية ولكنها لا تمتصّ الضوء أو تنتجه. ولكن نظرًا إلى أن عمليات البحث عن جُسَيْمات المادة المظلمة لم تحقّق أي نتيجة بعد، اقترح بعض الباحثين بدائل للمادة المظلمة يتم فيها تفسير المشاهدات عن طريق تعديلات في قانون قوة الجاذبية. ومع استمرار فشل العديد من التجارب المستمرّة في الكشف المباشر عن جُسَيْمات المادة المظلمة، تجذب النظريات البديلة اهتمامًا متزايدًا.

12. اتجاه تدفّق الحرارة، من المواد أو البيئات الأكثر سخونة إلى تلك الأكثر برودة، هو نتيجة مباشرة للقانون الثاني للديناميكا الحرارية. فعندما تبرد القهوة الساخنة إلى درجة حرارة الغرفة، مما يؤدّي إلى نقل بعض من حرارتها إلى جزيئات الهواء في الغرفة، يسخن الهواء قليلًا ومن ثم تزداد الإنتروبيا الخاصة به. تتجاوز الزيادة في إنتروبيا الهواء الانخفاض في إنتروبيا القهوة الآخذة في البرودة، مما يضمن زيادة في الإنتروبيا الكلية. رياضيًّا، التغيير في إنتروبيا النظام يُعبّر عنه على صورة تغير في حرارته مقسومًا على درجة حرارته (أي، حيث تشير Sإلى الإنتروبيا، و Q إلى الحرارة، وTإلى درجة الحرارة). وعندما تتدفّق الحرارة من نظام أكثر سخونة إلى نظام أكثر برودة، فإن حجم التغير في الحرارة لكل نظام يظل كما هو، ولكن كما تظهر المعادلة، يكون الانخفاض في إنتروبيا النظام الأكثر سخونة أقل من الزيادة في درجة حرارة النظام الأبرد (بسبب المعامل T في المقام)، وبالتالي فإن صافي التغير سيؤدي إلى زيادة إجمالية في الإنتروبيا.

13. من وجهة نظر حفظ الطاقة، كلما تحركت الجزيئات إلى الخارج، زادت طاقة وضع الجاذبية الخاصة به، ومن ثم انخفضت طاقتها الحركية.

14. بالنسبة إلى القارئ ذي الميول الرياضية والحاصل على قدر من التدريب الفيزيائي، من الممكن فهم ذلك بعملية حسابية سريعة باستخدام الميكانيكا الإحصائية الكلاسيكية، حيث تتناسب الإنتروبيا مع حجم فضاء الطور. افترض أن سحابة الغاز المنكمشة تفي بنظرية فيريالvirial (الشهيرة)، والتي تربط متوسط الطاقة الحركية للجُسَيْماتK، بمتوسط طاقة الوضع الخاصة بها U، عبر المعادلة $K = -U / 2$. بعد ذلك، بما أن طاقة وضع الجاذبية تتناسب طرديًّا مع $1 / R$، حيث R نصف قطر السحابة، نرى أن K يتناسب طرديًّا أيضًا مع $1 / R$. علاوة على ذلك، بما أن الطاقة الحركية تتناسب طرديًّا مع مربع سرعات الجُسَيْمات، ندرك أن متوسط سرعة الجُسَيْمات يتناسب مع $1 / R$. وبالتالي يتناسب حجم فضاء الطور الذي يمكن الوصول إليه من الجُسَيْمات في السحابة مع $R^3 (1 / \sqrt{R})^3$ حيث يمثل العامل الأول الحجم المكاني الذي يمكن للجُسَيْمات الوصول إليه؛ ويمثل العامل الثاني حجم فضاء الزخم التي يمكن للجُسَيْمات الوصول إليها. نرى أن الانخفاض في الحجم المكاني يفوق الزيادة في حجم فضاء الزخم، مما يؤدي إلى انخفاض إجمالي في الإنتروبيا مع انكماش السحابة. لاحظ أيضًا أن نظرية فيريال virial تضمن أنه مع انكماش السحابة، فإن الانخفاض في طاقة الوضع يتجاوز الزيادة في الطاقة الحركية (بسبب المعامل «2» في النظرية المتعلّقة بـ K وU)، لذلك لا تنخفض إنتروبيا الجزء المنكمش من السحابة وحسب، بل تنخفض طاقته أيضًا. وتُشَع تلك الطاقة إلى الغلاف المحيط، الذي تزداد طاقته وكذلك الإنتروبيا الخاصّة به.

الفصل الرابع: المعلومات والحيوية

1. خطاب من فرانسيس هاري كومبتون كريك إلى إرفين شرودنجر، 12 أغسطس 1953.
2. انظر: J. D. Watson and F. H. C. Crick, «Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid,» Nature 171 (1953): 737-38. كانت الشخصية المحورية في هذا الاكتشاف هي عالمة الكيمياء وعالمة البلورات روزاليند فرانكلين، التي قدم ويلكينز «صورتها رقم 51» من دون علمها إلى واطسون وكريك. وقد لعبت هذه الصورة دورًا أساسيًّا في إكمال واطسون وكريك نموذج اللولب المزدوج للحمض النووي. وقد توفيت فرانكلين في العام 1958، قبل أربع سنوات من منح جائزة نوبل لفك بنية الحمض النووي، ولا يمكن منح جائزة نوبل للشخص بعد وفاته. ولو كانت فرانكلين على قيد الحياة، فمن غير الواضح كيف كانت لجنة نوبل ستتصرف. انظر، على سبيل المثال، Brenda Maddox, *Rosalind Franklin: The Dark Lady of DNA* (New York: Harper Perennial, 2003).
3. انظر: Maurice Wilkins, *The Third Man of the Double Helix* (Oxford: Oxford University Press, 2003), 84.
4. انظر: Erwin Schrödinger, *What Is Life?* (Cambridge: Cambridge University Press, 2012), 3.
5. انظر: *Time* magazine, Vol. 41, Issue 14 (5 April 1943): 42.
6. انظر: Erwin Schrödinger, *What Is Life?* (Cambridge: Cambridge University Press, 2012), 87.
7. انظر: K. G. Wilson, «Critical phenomena in 3.99 dimensions,» *Physica* 73 (1974): 119. انظر أيضًا محاضرة كين ويلسون التي ألقاها بمناسبة فوزه بجائزة نوبل للاطلاع على مناقشة ومراجع شبه فنية على الرابط التالي: https://www.nobelprize.org.
8. استند علماء من مجموعة واسعة من التخصصات العلمية إلى فكرة القصص المتداخلة، بأشكالها المختلفة، والتي توصف أحيانًا بـ«مستويات الفهم» أو «مستويات التفسير». فيتحدث علماء النفس عن تفسير السلوك على المستوى البيولوجي (استدعاء الأسباب الفيزيوكيميائية)، والمستوى المعرفي (استدعاء وظائف الدماغ العالية المستوى)، والمستوى الثقافي (استدعاء التأثيرات الاجتماعية)، ويقوم بعض علماء الإدراك (بالعودة إلى عالم الأعصاب ديفيد مار) بتنظيم فهم أنظمة معالجة المعلومات من منظور المستوى الحسابي والمستوى الخوارزمي والمستوى المادي. ويشترك العديد من المخططات الهرمية التي يتبناها الفلاسفة والفيزيائيون في الالتزام بـ*المذهب الطبيعي* وهو مصطلح يُستخدم كثيرًا ولكن يصعب تحديده بدقة. ويتفق جُل مَن يستخدمون المذهب الطبيعي على أنه يرفض التفسيرات التي تستدعي كيانات خارقة للطبيعة، ويعتمد بدلًا من ذلك على خصائص العالم الطبيعي فقط. بالطبع، لجعل هذا الموقف دقيقًا، نحتاج إلى تعيين حدود واضحة لما يشكّل العالم الطبيعي، وهي مهمّة يسهل قولها لكن يصعب تنفيذها. تقع الجداول والأشجار داخل نطاق العالم الطبيعي بشكل مباشر، ولكن ماذا عن الرقم خمسة أو مبرهنة فيرما الأخيرة؟ ماذا عن مشاعر الفرح أو الإحساس باللون الأحمر؟ ماذا

عن المُثُل العليا التي لا يمكن التنازل عنها كالحرية والكرامة الإنسانية؟

على مر الأعوام، ألهمت أسئلة كهذه العديد من الصور المختلفة للمذهب الطبيعي. ويذهب أحد المواقف المتطرفة إلى أن المعرفة المشروعة الوحيدة للعالم تأتي من مفاهيم العلم وتحليلاته؛ وهو الموقف الذي يطلق عليه أحيانًا «العلموية» (scientism). وهنا، أيضًا، يتطلّب المنظور من مؤيديه تحديد المصطلحات بدقة: ما الذي يشكّل العلم؟ من الواضح أنه إذا قُصد بالعلم الاستنتاجات القائمة على الملاحظات والخبرة والتفكير العقلاني، فإن حدود العلم تمتدّ إلى ما هو أبعد من التخصصات التي نجدها عادةً ممثلة في أقسام العلوم الجامعية. وكما يمكنك أن تتخيل، فإن هذا يؤدي إلى ادعاءات تتجاوز حدود العلم.

تحدّد المواقف الأقل تطرفًا الالتزام الطبيعي من خلال مبادئ تنظيمية مختلفة. وقد نادى الفيلسوف باري ستراود بما يسميه «النظرة الطبيعية الموسعة أو المنفتحة» التي لا تكون فيها الحدود التفسيرية جامدة وغير قابلة للتغيير منذ البداية. بدلًا من ذلك، يحتفظ المذهب الطبيعي الواسع بحرية بناء طبقات من الفهم تستدعي كل شيء، بدءًا من المكونات المادية للطبيعة إلى الصفات النفسية وحتى العبارات الرياضية المجردة، كما يتطلّب الأمر من أجل تفسير الملاحظات والتجارب والتحليلات Barry Stroud, «The Charm of Naturalism,» *Proceedings and Addresses of the American Philo-sophical Association* 70, no. 2 [November 1996], 43-55. كما دافع الفيلسوف جون دوبري عن «المذهب الطبيعي التعددي»، الذي يذهب إلى أن حلم الوحدة داخل العلم هو خرافة خطيرة، وبدلًا من ذلك يجب أن تنبثق تفسيراتنا عن «مشروعات استقصائية متنوعة ومتداخلة» تمتد عبر العلوم التقليدية وما بعدها لتشمل، من بين التخصصات الأخرى، التاريخ والفلسفة والفنون (John Dupré, «The Miracle of Monism,» in Naturalism in Question, ed. Mario de Caro and David Macarthur [Cambridge, MA: Harvard University Press, 2004], 36-58). كما قدم ستيفن هوكينج وليونارد ملودينوف مفهوم «الواقعية المعتمدة على النموذج»، الذي يصف الواقع من منظور مجموعة من القصص المتمايزة، التي تعتمد كل قصة منها على نموذج أو إطار نظري مختلف لتفسير الملاحظات، سواء في عالم الجزيئات الصغير أو العالم الكبير. الحوادث اليومية (Stephen Hawking and Leonard Mlodinow, *The Grand Design* [New York: Bantam Books, 2010]). واعتمد الفيزيائي شون كارول على «الطبيعة الشعرية» للإشارة إلى التفسيرات التي توسع المذهب الطبيعي العلمي ليشمل اللغة والمفاهيم التي تلبّي مجالات الاهتمام المختلفة (Sean Carroll, *The Big Picture* [New York: Dutton, 2016]). وكما أوضحنا في الملاحظة رقم 4 في الفصل الأول، يستخدم إ. و. ويلسون مصطلح «الوعي» للتعبير عن المعرفة المتجمعة من تخصصات متباينة على نطاق واسع لتوفير عمق للفهم ليس من الممكن تحقيقه بخلاف ذلك.

لا أفضل ابتكار المصطلحات كثيرًا، ولكن إذا كان لي أن أسمّي وجهة نظري الخاصة، والتي سترشد مناقشتنا عبر هذا الكتاب، فسأطلق عليها «المنظور الطبيعي المتداخل». إن المنظور الطبيعي المتداخل، كما سيتضح في هذا الفصل والفصول التالية، ملتزم بقيمة الاختزالية وقابليتها للتطبيق الشامل. وهذا المنظور يسلم بوجود وحدة جوهرية في أعمال العالم، ويفترض أن مثل

هذه الوحدة يمكن إيجادها من خلال اتباع البرنامج الاختزالي، وصولًا إلى أي عمق يقودنا إليه. وكل ما يحدث في العالم يسمح بتوصيف من منظور المكونات الأساسية للطبيعة وذلك وفقًا لإملاءات القوانين الأساسية للطبيعة. ومع ذلك، يؤكد المنظور الطبيعي المتداخل أيضًا على أن مثل هذا الوصف له قوة تفسيرية محدودة. فهناك العديد من المستويات الأخرى من الفهم التي تلتف حول التفسير الاختزالي، تمامًا مثلما تلتف الأجزاء الخارجية للعش حول بنيته الداخلية. واعتمادًا على الأسئلة التي يتم بحثها، يمكن لهذه القصص التفسيرية الأخرى أن تقدم تفسيرًا أكثر ثراءً من ذلك الذي يقدمه الاختزال. يجب أن تكون كل التفسيرات متسقة على نحو متبادل، ولكن من الممكن أن تظهر مفاهيم جديدة ومفيدة في مستويات أعلى لا تقبل بالارتباط بالمستوى الأدنى. على سبيل المثال، عند دراسة العديد من جزيئات الماء، يكون مفهوم موجة الماء الواحدة منطقيًا ومفيدًا. ولكن عند دراسة جزيء ماء واحد، فإنه ليس كذلك. وبالمثل، عند استكشاف القصص الغنية والمتنوعة للخبرة الإنسانية، يستدعي المنظور الطبيعي المتداخل بحرية التفسيرات على أي مستوى من مستويات البنية يثبت أنه أكثر توضيحًا، مع ضمان توافق التفسيرات معًا داخل وصف متماسك.

9. في كل المواضع، كل الإشارات إلى «الحياة» تعني ضمنيًا «الحياة كما نعرفها، على كوكب الأرض»، ولذا لن أقدم هذا الشرط.

10. تتمثل إحدى العقبات المهمة أمام تكوين الذرات ذات الأوزان الذرية الكبيرة في عدم وجود نوى مستقرة تحتوي على خمسة أو ثمانية نوكليونات. وبينما تنبني النوى عن طريق إضافة البروتونات والنيوترونات على نحو متعاقب (نوى الهيدروجين والهيليوم)، فإن عدم الاستقرار عند الخطوتين الخامسة والثامنة يخلق عنق زجاجة يعيق التخليق النووي للانفجار العظيم.

11. النسب التي قدّمتها تمثل الوفرة النسبية بالكتلة. ونظرًا إلى أن كل نواة هيليوم تساوي تقريبًا أربعة أمثال كتلة كل نواة هيدروجين، فإن إحصاء عدد ذرات الهيدروجين مقارنة بعدد ذرات الهيليوم ينتج نسبة مختلفة، نحو 92 بالمائة هيدروجين و8 بالمائة هيليوم.

12. للحصول على تاريخ كامل، انظر: Helge Kragh, «Naming the Big Bang,» *Historical Studies in the Natural Sciences* 44, no. 1 (February 2014): 3. اقترح كراغ أنه على الرغم من أن هويل كان يفضّل نظريته الكونية (نموذج الحالة الثابتة، الذي بموجبه كان الكون موجودًا دائمًا)، فإن استخدامه لمصطلح «الانفجار العظيم» ربما لم يُقصَد به السخرية. وبدلًا من ذلك، ربما استخدم هويل مصطلح «الانفجار العظيم» كطريقة ملفتة للانتباه من أجل التميز بين نظريته الخاصة وهذه النظرية المنافسة.

13. انظر: S. E. Woosley, A. Heger, and T. A. Weaver, «The evolution and explo-sion of massive stars,» *Reviews of Modern Physics* 74 (2002): 1015.

14. حللت إحدى الدراسات مئات الآلاف من المسارات المحتملة، وخلصت إلى أن جميعها تقريبًا كانت ستتطلب طرد الشمس بهذه السرعة العالية، بحيث إما أن تفقد قرصها الكوكبي الأولي، أو أن تتشتّت الكواكب التي قد تشكّلت بالفعل(Bárbara Pichardo, Edmundo Moreno, Christine Allen, et al., «The Sun was not born in M67,» *The Astronomical Journal*

143, no. 3 [2012]: 73). قدمت دراسة أخرى افتراضًا مختلفًا عن الموقع الذي تشكلت فيه المنطقة ميسيه 67 نفسها، وخلصت إلى أن سرعة الطرد الأبطأ قد تكون كافية لإطلاق الشمس في مسارها، وبهذه السرعة البطيئة، سيتم الحفاظ على الكواكب أو قرص الكواكب الأولي: (Timmi G. Jørgensen and Ross P. Church, «Stellar escapers from M67 can reach solar-like Galactic orbits,» arxiv.org, arXiv:1905،09586).

15. انظر: A. J. Cavosie, J. W. Valley, S. A. Wilde, «The Oldest Terrestrial Mineral Record: Thirty Years of Research on Hadean Zircon from Jack Hills, Western Australia,» in *Earth's Oldest Rocks*, ed. M. J. Van Kranendonk (New York: Elsevier, 2018), 255-78. وتتفق أحدث البيانات مع الدراسة الأصلية الموصوفة في John W. Valley, William H. Peck, Elizabeth M. King, and Simon A. Wilde, «A Cool Early Earth,» *Geol-ogy* 30 (2002): 351-54; John Valley, personal communication, 30 July 2019).

16. انظر: Werner Heisenb erg, *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science* (London: Penguin Books, 1958), 16.

17. انظر: Max Born, *«Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge,» Zeitschrift für Physik* 37, no. 12 (1926): 863. في النسخة الأولية لهذه الورقة، يرتبط بورن الدوال الموجية الكمية مباشرة بالاحتمالات، ولكن في حاشية سفلية أُضيفَت لاحقًا، قام بتصحيح العلاقة لتضمين القاعدة التربيعية للدالة الموجية.

18. يعد مبدأ الاستبعاد لـ فولفجانج باولي، والذي سنناقشه في الفصل التاسع، ضروريًا أيضًا لتحديد المدارات الكمية المسموح بها للإلكترونات حول النواة. وينص مبدأ الاستبعاد على أنه لا يمكن لإلكترونين (وعمومًا، لا يمكن لجُسَيْمين من نفس النوع) أن يشغلا الحالة الكمية نفسها. وبالتالي، فإن المدارات الكمية الفردية التي تحددها معادلة شرودنجر يمكن لكل منها أن يستوعب إلكترونًا واحدًا على الأكثر (أو، بتضمين حرية درجة اللف المغزلي، إلكترونين). يمتلك العديد من هذه المدارات نفس الطاقة، والتي تكافئ في تشبيهنا المقاعد الموجودة على نفس المستوى في المسرح الكمي. ولكن بمجرد حجز كل مقعد من هذه المقاعد -بمجرد شغل كل مدار كمي- لا يمكن لهذا المستوى استيعاب أي إلكترونات إضافية.

19. إذا كنت تتذكّر منهج الكيمياء في المدرسة الإعدادية، فستدرك أنني قمت بتبسيط متواضع. وإذا تحريت مزيدًا من الدقة سأقول إن الذرات (بسبب ميكانيكا الكم) تنظم طبقاتها على هيئة مجموعة من الطبقات الفرعية، والتي لها قيم زخم زاوي مختلفة. وأحيانًا تمتلك الطبقة الأعلى، ذات الزخم الزاوي الأقل، طاقةً أقل من الطبقة الأدنى ذات الزخم الزاوي الأكبر. إذا كان الأمر كذلك، فسوف تملأ الإلكترونات تلك الطبقة الفرعية من الطبقة الأعلى قبل إكمال الطبقة الدنيا.

20. بتعبير أدق، يتحقّق الاستقرار عندما تمتلئ الطبقة الفرعية الخارجية للذرة (غلاف التكافؤ). قد تتذكّر من المدرسة الثانوية «قاعدة الثمانية»، التي تشير إلى أن الذرات تحتاج عادةً إلى ثمانية إلكترونات في غلاف التكافؤ الخاص بها، وبالتالي إما أنها ستتبرّع بالإلكترونات، أو تستقبلها أو تتشاركها مع ذرات أخرى للوصول إلى هذا العدد.

21. انظر: Albert Szent-Györgyi, «Biology and Pathology of Water,» *Perspectives in Biology and Medicine* 14, no. 2 (1971): 239.

22. ينصب تركيزنا في هذا الفصل على النباتات والحيوانات، التي تتكوّن من خلايا حقيقية النواة (الخلايا التي تحتوي على نواة). وهكذا يقول الباحثون إن السلالات تلتقي عند «آخر سلف مشترك حقيقي للنواة». وبشكل عام، إذا نظرنا أيضًا إلى البكتيريا والعتائق، فإن السلالات تلتقي في موضع أسبق عند «آخر سلف عام مشترك».

23. انظر: A. Auton, L. Brooks, R. Durbin, et al., «A global reference for human genetic variation,» *Nature* 526, no. 7571 (October 2015): 68.

24. طوّر العلماء مقاييس مختلفة لمقارنة تداخل الحمض النووي بين الأنواع. يقارن أحد الأساليب الأزواج القاعدية لتلك الجينات التي تتشاركها الأنواع (وهو أصل الاختلاف الجيني البالغ نحو 1٪ تقريبًا بين البشر والشمبانزي)، بينما يقارن أسلوب آخر الجينومات الكاملة (وهو ما ينتج اختلافًا جينيًا بين الإنسان والشمبانزي أكبر نوعًا ما).

25. بتعبير أدق، يصف الباحثون الشفرة الموضحة في الفقرة التالية بأنها عالمية «تقريبًا»، إذ تعكس حقيقة أنه تم اكتشاف اختلافات في حالات معينة خاصة. ومع ذلك، حتى هذه التعديلات المتواضعة تشترك جميعها في نفس بنية التشفير الأساسية مثل تلك الموصوفة في الفصل.

26. في وجود الشفرة الثلاثية الأحرف، ووجود أربعة أحرف متمايزة، هناك أربعة وستون مجموعة ممكنة. ولكن نظرًا إلى أن هذه التسلسلات ترمز إلى عشرين حمضًا أمينيًا فقط، فإن عددًا من التسلسلات المختلفة يمكن أن ترمز إلى نفس الحمض الأميني وتحمل شفرته. تاريخيًّا، من بين الأوراق الأولى التي كشفت عن هذه الشفرة الوراثية، F. H. C. Crick, Leslie Barnett, S. Brenner, and R. J. Watts-Tobin, «General nature of the genetic code for pro-teins,» *Nature* 192 (1961): 1227-32 وJ. Heinrich Matthaei, Oliver W. Jones, Robert G. Martin, and Marshall W. Nirenberg, «Characteristics and Composition of Coding Units,» *Proceedings of the National Acad-emy of Sciences* 48, no. 4 (1962): 666-77. بحلول منتصف الستينيات، وبفضل جهود عدد من الباحثين، أبرزهم مارشال نيرنبرج وروبرت هولي وهار جوبيند خورانا، اكتملت الشفرة الوراثية، ومُنح هؤلاء القادة الثلاثة جائزة نوبل للعام 1968.

27. لا يزال التعريف الدقيق للجين موضع نقاش. بالإضافة إلى معلومات تشفير البروتين، يشتمل الجين على تسلسلات مساعدة (لا يلزم أن تكون مجاورة لمنطقة التشفير)، يمكن أن تؤثّر على الطريقة الدقيقة التي تستخدم بها الخلية بيانات التشفير (على سبيل المثال، تعزيز أو تثبيط معدل إنتاج بروتين معين، من بين الوظائف التنظيمية الأخرى).

28. اقترح عالم الكيمياء الحيوية البريطاني بيتر ميتشل الفكرة الرئيسية، فكرة التيارات الكهربائية القائمة على البروتون والتي تعمل على تخليق جزيء الأدينوسين ثلاثي الفوسفات، والتي فاز عنها بجائزة نوبل العام 1978. (P. Mitchell, «Coupling of phosphorylation to electron and hydrogen transfer by a chemiosmotic type of mechanism,» *Nature* 191 [1961]:

.48-144). وعلى الرغم من أن التفاصيل المختلفة لمقترح ميتشل تطلّبت تنقيحًا لاحقًا، فقد مُنح جائزة نوبل لأفكاره في «نقل الطاقة البيولوجية». كان ميتشل عالِمًا غير عادي. وقد ضاق ذرعًا بالعديد من الصفات السخيفة للعالم الأكاديمي (يمكنني أن أتعاطف مع هذا الرأي)، فأسس شركة خيرية مستقلّة، تُدعىGlynn Research، وأجرى هناك هو وزملاؤه وفريق عمل يصل إلى عشرة أشخاص بحوثًا كيميائية حيوية. وقد سُردَت تفاصيل حياته الرائعة في كتاب John Prebble and Bruce Weber, *Wandering in the Gardens of the Mind: Peter Mitchell and the Making of Glynn* (Oxford: Oxford University Press, 2003). وللحصول على تفاصيل حول الفهم الحديث لاستخراج الطاقة ونقلها داخل الخلايا، انظر، على سبيل المثال: Bruce Alberts et al., *Molecular Biology of the Cell,* 5th ed. (New York: Garland Science, 2007), chapter 14. سيلاحظ القارئ المطلع إحدى السمات العامة لهذه العملية، وهي: استخراج الطاقة عن طريق *التخمير* (وهي عملية لاستخراج الطاقة لا تستخدم الأكسجين).

29. انظر: Charles Darwin, *The Origin of Species* (New York: Pocket Books, 2008).

30. في التشبيه الذي أوردته، أتخيّل شركة تكرّر منتجها من خلال عملية تجربة وخطأ عشوائية. ومع ذلك، هناك طرق أخرى يمكن من خلالها دمج التجربة والخطأ بطريقة أكثر فعالية. فمثلًا، عند تطوير خوارزميات حسابية مختلفة، يبدأ علماء الحاسوب بخوارزمية واحدة، ثم يعدّلونها بشكل عشوائي، ويتجاهلون التعديلات التي تقلل من سرعة الخوارزمية، ثم يعدّلون التعديلات المتبقية (الخوارزميات المعدلة التي تزيد السرعة). وبتكرار هذا الإجراء، لدينا نهج مستوحى من الانتخاب الطبيعي يختبر مجموعة واسعة من الاحتمالات، مما يؤدي إلى إجراءات حسابية أسرع. بطبيعة الحال، فإن دراسة الخوارزميات المعدلة على الحاسوب أقل تكلفة بكثير من تجربة منتج معدل عشوائيًا في السوق. وبالتالي يمكن أن تكون التجربة والخطأ العشوائية استراتيجية مفيدة في مهمّات مختلفة ما دامت التكلفة في كل من الوقت والموارد اللازمة لتكرار جولة بعد جولة من التعديل العشوائي صغيرة (أو إذا كان من الممكن اختبار التعديلات بطريقة متوازية على نطاق واسع).

31. انظر: Eric T. Parker, Henderson J. Cleaves, Jason P. Dworkin, et al., «Primor-dial synthesis of amines and amino acids in a 1958 Miller H2S-rich spark discharge experiment,» *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, no. 14 (April 2011): 5526.

32. يمكن أن تتكوّن جدران الخلايا بشكل طبيعي من مواد كيميائية شائعة، كالأحماض الدهنية، التي لها طرف يبحث عن الماء وطرف آخر يتجنّبها. هذه العلاقة مع الماء يمكن أن تغري هذه الجزيئات لتشكيل حواجز مزدوجة العرض، ذات أطراف محبة للماء للجزيئات في الخارج وأطراف كارهة للماء تربط الجدارين معًا، لتشكل جدار خلية. للاطلاع على مناقشة في سياق سيناريو عالم الـRNA، انظر: G. F. Joyceand J. W. Szostak, «Protocells and RNA Self-Replication,» *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology* 10, no. 9 (2018).

33. اقترح العديد من الباحثين، بما في ذلك الكيميائي سفانت أرينيوس، والفلكي فريد هويل، وعالم

الأحياء الفلكية تشاندرا ويكراماسنجي، والفيزيائي بول ديفيز، على سبيل المثال لا الحصر، أن بعض الصخور المتساقطة قد تكون حملت بذاتها بذورًا قويةً بشكل خاص للحياة، أي جزيئات جاهزة يمكنها التكاثر وتحفيز التفاعلات. وعلى الرغم من أن هذا الاقتراح مثير للفضول، فعن طريق إثارة احتمال أن تكون صخور الفضاء الحاملة للحياة قد هبطت على عدد كبير من الكواكب في جميع أنحاء الكون، فإنه لا يعزّز فهمنا لأصل الحياة، لأنه يحوّل السؤال إلى مسألة أصول هذه البذور.

34. انظر: David Deamer, *Assembling Life: How Can Life Begin on Earth and Other Habitable Planets?* (Oxford: Oxford University Press, 2018).

35. انظر: A. G. Cairns-Smith, *Seven Clues to the Origin of Life* (Cambridge: Cambridge University Press, 1990).

36. انظر: W. Martin and M. J. Russell, «On the origin of biochemistry at an alkaline hydrothermal vent,» *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 367 (2007): 1187.

37. انظر: Erwin Schrödinger, *What Is Life?* (Cambridge: Cambridge University Press, 2012), 67.

38. الطاقة التي تحملها الفوتونات الواردة تكون أكثر تركيزًا (أطوالها الموجية أقصر، وتقع في الجزء المرئي من الطيف، وعددها أقل)، ومن ثم فهي ذات جودة أعلى، أما الطاقة التي تحملها الفوتونات الخارجة فهي مخففة بدرجة أكبر (أطوالها الموجية أطول، وتقع في جزء الأشعة تحت الحمراء من الطيف، وأعدادها أكبر) ومن ثم فهي أقل جودة. وبالتالي فإن فائدة الطاقة الشمسية لا تُستمد فقط من الكمية الهائلة للطاقة التي توفّرها الشمس ولكن من كون طاقة الشمس ذات الجودة العالية، والتي تحمل إنتروبيا أقل بكثير من الحرارة المنبعثة من الأرض إلى الفضاء. وكما هو مذكور في الفصل، ففي مقابل كل فوتون تستقبله الأرض من الشمس يتم إشعاع بضع عشرات من الفوتونات إلى الفضاء. ولتقدير هذا العدد، لاحظ أن الفوتونات الواردة من الشمس تنبعث من بيئة تبلغ درجة حرارتها نحو 6000 درجة كلفينية (درجة حرارة سطح الشمس)، بينما تلك المنبعثة من الأرض آتية من بيئة تبلغ درجة حرارتها نحو 285 درجة كلفينية (درجة حرارة سطح الارض). تتناسب طاقة الفوتون طرديًا مع درجات الحرارة هذه (مع اعتبار الفوتونات غازًا مثاليًا من الجُسَيْمات)، ومن ثم فإن نسبة الفوتونات التي تمتصّها الأرض من الشمس ثم يعاد إطلاقها تُحَدَّد على صورة نسبة بين درجات الحرارة: 6000 درجة كلفينية / 285 درجة كلفينية، أي نحو 21 فوتونًا، أو عشرين فوتونًا بالتقريب.

39. انظر: Erwin Schrödinger, *What Is Life?* (Cambridge: Cambridge UniversityPress, 2012), 1.

40. انظر: Albert Einstein, *Autobiographical Notes* (La Salle, IL: Open Court Publishing, 1979), 3. للاطلاع على معالجة حديثة أنيقة لمبادئ الديناميكا الحرارية في سياق الأنظمة الحية، وتقديم أمثلة ذات مغزى توضح الكثير من المفاهيم الضرورية التي نستعين بها،

انظر: PhilipNelson, *Biological Physics: Energy, Information, Life* (New York: W. H. Freeman and Co., 2014).

41. انظر: J. L. England, «Statistical physics of self-replication,» *Journal of Chemical Physics* 139 (2013): 121923. Nikolay Perunov, Robert A. Marsland, and Jeremy L. England, «Statistical Physics of Adaptation,» *Physical Review X* 6 (June 2016): 021036-1; Tal Kachman, Jeremy A. Owen, and Jer-emy L. England, «Self-Organized Resonance During Search of a Diverse Chemical Space,» *Physical Review Letters* 119, no. 3 (2017): 038001-1. See also G. E. Crooks, «Entropy production fluctuation theorem and the nonequilibrium work relation for free energy differences,» *Physical Review E* 60 (1999): 2721; and C. Jarzynski, «Nonequilibrium equality for free energy differences,» *Physical Review Letters* 78 (1997): 2690.

42. يشير إنجلاند أيضًا إلى أنه نظرًا إلى أن البنية الفيزيائية لأي كيان حي ليست مرتبة بصورة مؤقتة فحسب، بل تحافظ على ترتيبها على مدار فترات زمنية طويلة –حتى بعد موتها بفترة– فربما يكون جزء مهم من الطاقة المهدرة التي تنتجها الحياة نتاجًا جانبيًّا لعملية بناء مثل هذه البنى المستقرة. بالنسبة إلى الحياة، إذًا، ربما تكون مساهمة مهمة في رقصة الإنتروبيا الثنائية مرتبطة بتكوين البنية بالإضافة إلى الحفاظ المستمر على التوازن. لاحظ أيضًا أنه على الرغم من أن الأنظمة الحية تحتاج إلى استهلاك طاقة عالية الجودة، فإنها تحتاج إلى أن تكون هذه الطاقة في شكل لا يخل بالتنظيم الداخلي للنظام. وللحصول على مثال توضيحي ميكانيكي، من الممكن دفع كأس نبيذ لتهتز بواسطة نغمة لها التردّد الصحيح، ولكن إذا تم نقل قدر أكبر مما ينبغي من الطاقة، فمن الممكن أن تتهشّم الكأس. ولتجنب نتيجة مماثلة، قد تتجمّع بعض درجات الحرية داخل نظام مشتت في صورة تكوينات تتجنب التوافق مع الطاقة الواردة من البيئة المحيطة. وتنطوي الحياة على توازن مناسب بين هذين الطرفين القصويين.

الفصل الخامس: الجُسَيْمات والوعي

1. انظر: Albert Camus, *The Myth of Sisyphus,* trans. Justin O'Brien (London: Hamish Hamilton, 1955), 18.

2. انظر: Ambrose Bierce, *The Devil's Dictionary* (Mount Vernon, NY: The Peter Pauper Press, 1958), 14.

3. انظر: Will Durant, *The Life of Greece,* vol. 2 of *The Story of Civilization* (New York: Simon & Schuster, 2011), 8181-82, Kindle.

4. بينما أُكثِر من الإشارة إلى المعادلات الرياضية التي توضح قوانين الفيزياء، يجدر بنا أن نكتب بإيجاز النسخة الأدق من هذه المعادلات. وحتى إذا لم تفهم الرموز، فقد يظل من المثير للاهتمام أن ترى «المظهر» العام للمعادلات الرياضية.
معادلات المجال لأينشتاين المشتقة من النظرية النسبية العامة هي: $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}R + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$، حيث يصف الجانب الأيسر من المعادلة انحناء الزمكان، علاوة على الثابت الكوني Λ، ويصف

الجانب الأيمن الكتلة والطاقة التي هي مصدر الانحناء (مصدر مجال الجاذبية). في هذا التعبير (وفي التعبيرات التالية)، تحمل المؤشرات اليونانية قيمًا تتراوح من 0 إلى 3، والتي تمثل إحداثيات الزمكان الأربعة.

معادلات ماكسويل المشتقّة من الكهرومغناطيسية هي: $\partial_{[\alpha}F_{\beta\sigma]} = 0$ و$\partial^{\alpha}F_{\alpha\beta} = \mu 0 J_{\beta}$، حيث يصف الجانب الأيسر من هذه المعادلات المجالين الكهربائي والمغناطيسي، بينما يصف الجانب الأيمن من المعادلة الأولى الشحنات الكهربائية التي تؤدي إلى نشوء هذه المجالات.

إن معادلات القوتين النوويتين، الشديدة والضعيفة، هي عبارة عن تعميم لمعادلات ماكسويل. السمة الأساسية الجديدة هي أنه بينما في نظرية ماكسويل يمكننا كتابة «شدة المجال» $F_{\alpha\beta} = \partial_{\alpha}A_{\beta} - \partial_{\beta}A_{\alpha}$ بدلالة A_{α}، والمعروف باسم «الجهد المتجه»، بالنسبة إلى القوتين النوويتين، هناك مجموعة من قوى المجال $F_{\alpha}{}^{a}{}_{\beta}$ بالإضافة إلى مجموعة من الجهود المتجهة A^{a}_{α}، والتي ترتبط بواسطة المعادلة $F_{\alpha}{}^{a}{}_{\beta} = \partial_{\alpha}A^{a}{}_{\beta} - \partial_{\beta}A_{\alpha}{}^{a} + gf^{abc}A^{b}{}_{\alpha}A^{c}{}_{\beta}$. تعمل المؤشرات اللاتينية على مولدات جبر لِي su(2) للقوة النووية الضعيفة وsu(3) للقوة النووية الشديدة، وf^{abc} هي ثوابت البنية لهذا الجبر.

معادلة شرودنجر لميكانيكا الكم هي: $i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t} = H\psi$، حيث H هي مؤثر هاميلتوني وψ هي الدالة الموجية، التي يوفر تربيع معيارها (المقيس بشكل صحيح) احتمالات ميكانيكا الكم. يشكل اندماج ميكانيكا الكم والقوة الكهرومغناطيسية والضعيفة والشديدة، بما في ذلك الجُسَيْمات المعروفة للمادة وجُسَيْم هيجز، النموذج القياسي لفيزياء الجُسَيْمات. نموذجيًا، يتم التعبير عن النموذج القياسي في شكل مكافئ ولكن متمايز يُعرف باسم المسار المتكامل (نهج ابتكره الفيزيائي ريتشارد فاينمان). ولا يزال دمج ميكانيكا الكم والنسبية العامة موضوعًا قائمًا للبحث المتقدم.

5. انظر: Augustine, *Confessions,* trans. F. J. Sheed (Indianapolis, IN: Hackett Publishing, 2006), 197.

6. انظر: Thomas Aquinas, *Questiones Disputatae de Veritate,* questions 10-20, trans. James V. McGlynn, S.J. (Chicago: Henry Regnery Company, 1953). https://dhspriory.org/thomas/QDdeVer10.htm#8.

7. انظر: William Shakespeare, *Measure for Measure,* ed. J. M. Nosworthy (Lon-don: Penguin Books, 1995), 84.

8. جوتفريد لايبنتس، خطاب إلى كريستيان جولدباخ، 17 أبريل 1712.

9. انظر: Otto Loewi, «An Autobiographical Sketch,» *Perspectives in Biology and Medicine* 4, no. 1 (Autumn 1960): 3-25. Loewi incorrectly noted that the dream took place Easter Sunday 1920, although the year was 1921.

10. للاطلاع على تاريخ متعمّق، انظر: Henri Ellenberger, *The Discovery of the Unconscious* New York: Basic Books, 1970.

11. انظر: Peter Halligan and John Marshall, «Blindsight and insight in visuo- spatial

.neglect,» *Nature* 336, no. 6201 (December 22-29, 1988): 766-67

12. كان المتهم في هذا هو جيمس فيكاري، الذي ادعى في العام 1957 أن الومضات اللاشعورية التي تشجع الجمهور على تناول الفشار وشرب الكوكاكولا أدت إلى زيادات كبيرة في مبيعات كليهما. في وقت لاحق، اعترف فيكاري بأن هذه الادعاءات كانت بلا أساس.

13. أثبت الباحثون قدرة مجموعة متنوّعة من المحفّزات اللاشعورية في التأثير على الأنشطة الواعية. في هذه الفقرة أصف أحد الأمثلة، وهي التأثيرات اللاشعورية على التحديدات العددية البسيطة. ولكن تم إثبات تأثيرات لا شعورية مماثلة تخصّ التعرف على الكلمات، انظر، على سبيل المثال: Anthony J. Marcel, «Conscious and Uncon-scious Perception: Experiments on Visual Masking and Word Rec ognition,» *Cognitive Psychology* 15 (1983): 197-237 علاوة على إدراك وتقييم طيف عريض من الصور والأجسام.

14. انظر: L. Naccache and S. Dehaene, «The Priming Method: Imaging Uncon-scious Repetition Priming Reveals an Abstract Representation of Num-ber in the Parietal Lobes,» *Cerebral Cortex* 11, no. 10 (2001): 966-74; L. Naccache and S. Dehaene, «Unconscious Semantic Priming Extends to Novel Unseen Stimuli,» *Cognition* 80, no. 3 (2001): 215-29. لاحظ أنه في هذه التجارب، يتم تحويل الحافز الأولي إلى حافز لا شعوري عبر عملية إخفاء يتم فيها عرض الأشكال الهندسية بشكل خاطف قبل التحفيز وبعده. لاستعراض هذا الأمر، انظر:. Stanislas Dehaene and Jean-Pierre Changeux, «Experimental and Theoretical Approaches to Conscious Processing,» *Neuron* 70, no. 2 (2011): 200-27, and Stanislas Dehaene, *Consciousness and the Brain* (New York: Penguin Books, 2014).

15. اسحاق نيوتن، خطاب إلى هنري أولدنبرج، 6 فبراير 1671.
.http://www.newtonproject.ox.ac.uk/view/texts/normalized/NATP00003

16. اعتنق الفلاسفة وعلماء النفس والصوفيون ومجموعة من المفكرين الآخرين تعريفات مختلفة للوعي. واعتمادًا على السياق، قد يكون بعضها أكثر فائدة من النهج الذي نتبناه، والبعض الآخر أقل فائدة. وينصب تركيزنا هنا على «المشكلة الصعبة»، ولهذا الغرض فإن الوصف الوارد في الفصل يخدمنا جيدًا.

17. إشارتي هنا إلى البروتونات والنيوترونات والإلكترونات هي اختزال لحالتي الذهنية مُعبرًا عنها بدلالة المكونات الأدق للطبيعة، بصرف النظر عما تكون عليه تلك المكونات (جُسَيْمات، مجالات، أوتار، إلخ).

18. انظر: Thomas Nagel, «What Is It Like to Be a Bat?» *Philosophical Review* 83, no. 4 (1974): 435-50.

19. عندما أتحدّث عن فهم الأعاصير أو البراكين - أو أي جسم عياني - بدلالة الجُسَيْمات الأساسية، فإنني أتحدّث من منظور «قائم على المبدأ». وكما أكدت نظرية الفوضى منذ وقت طويل، فإن الاختلافات الدقيقة في الظروف الأولية لمجموعة من الجُسَيْمات ستؤدّي إلى اختلافات هائلة

في الترتيب المستقبلي للجُسَيْمات. وهذا صحيح حتى في حالة المجموعات الصغيرة. من الناحية العملية، تؤثر هذه الحقيقة بشكل كبير على أنواع التنبوءات التي يمكننا القيام بها، ولكنها لا تنطوي على أي لغز. وتوفر نظرية الفوضى مجموعة كبيرة وعميقة من الأفكار، لكن النظرية لم يتم تطويرها لملء الفجوة المتصورة في فهمنا لقوانين الفيزياء الأساسية. لكن عندما يتعلق الأمر بالوعي، فإن المشكلة التي أثيرت في الفصل -كيف يمكن لجُسَيْمات طائشة أن تنتج أحاسيس واعية؟- أوحت لبعض الباحثين أن هناك فجوة ذات طبيعة أكثر جوهرية. وقد ذهبوا إلى أن أحاسيس العقل لا يمكن أن تنشأ من مجموعات كبيرة من الجُسَيْمات، بغض النظر عن الحركات المنسّقة التي قد تتبعها تلك الجُسَيْمات.

20. انظر: Frank Jackson, «Epiphenomenal Qualia,» *Philosophical Quarterly* 32 (1982): 127-36.

21. انظر: Daniel Dennett, *Consciousness Explained* (Boston: Little, Brown and Co., 1991), 399-401.

22. انظر: David Lewis, «What Experience Teaches,» *Proceedings of the Russel-lian Society* 13 (1988): 29-57. Reprinted in David Lewis, *Papers in Metaphysics and Epistemology* (Cambridge: Cambridge University Press, 1999): 262-90, which builds on earlier insights in Laurence Nemirow, «Review of Nagel's Mortal Questions,» *Philosophical Review* 89 (1980): 473-77.

23. انظر: Laurence Nemirow, «Physicalism and the cognitive role of acquain-tance,» in *Mind and Cognition*, ed. W. Lycan (Oxford: Blackwell, 1990), 490-99.

24. انظر: Frank Jackson, «Postscript on Qualia,» in *Mind, Method, and Condition-als, Selected Essays* (London: Routledge, 1998), 76-79.

25. يناقش تشالمرز، في ورقته البحثية المنشورة عام 1995، كلًّا من الحيوية والكهرومغناطيسية كإطارين مرجعيين مفيدين للتفكير في المشكلة الصعبة. إن السمة المميزة الرئيسية للمشكلة الصعبة، كما حدّدها تشالمرز، هي أنها تتناول بالضرورة صفات ذاتية للخبرة، ومن ثم فهو يرى أنه لا يمكن حلّها من خلال اكتساب فهم أدق للوظائف الموضوعية للدماغ. في هذا القسم، أجد أن من المفيد تأطير المشكلة بشكل مختلف نوعًا ما، مع مقارنة القضايا المفتوحة التي يمكن للعلم حلها، على الأقل من حيث المبدأ، باستخدام نموذجه الإرشادي القائم حاليًا (الذي يحدّد الساحة التي يحدث فيها الواقع كما نعرفه)، والقضايا المفتوحة التي قد لا يكون هذا النموذج مناسبًا لها. وفق هذا التأطير، تكون المشكلة صعبة إذا تعيّن علينا من أجل حلها أن نغير بشكل جذري النهج الحالي لوصف العالم (في مثال الكهرباء والمغناطيسية، كان على العلماء تقديم صفات جوهرية جديدة؛ كالمجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية والشحنات الكهربائية التي تملأ الفراغ). وفي ذلك الصدد، يرى تشالمرز أنه لا يمكن حل المشكلة الصعبة من خلال استخدام المكونات المادية فقط في صميم توصيفاتنا المادية الجوهرية للواقع، والإطار الذي أقدّمه، رغم اختلافه، يجسد جزءًا أساسيًا من هذه القضية. لاحظ أيضًا أنه وفقًا لتشالمرز، فإن السبب الحقيقي وراء

اختفاء الحيوية تدريجيًا هو أن السؤال الذي أبرزَته كان يتعلّق بوظيفة موضوعية: كيف يمكن للمكونات المادية أن تؤدّي الوظائف الموضوعية للحياة؟ وفي ضوء الفهم الأفضل من جانب العلم للقدرات الوظيفية للمكونات الفيزيائية (الجزيئات الكيميائية الحيوية وما إلى ذلك)، تضاءل اللغز الذي سعت الحيوية إلى معالجته. ووفقًا لتشالمرز، لن يتكرّر هذا التقدّم مع المشكلة الصعبة. لا يشاركه الفيزيائيون هذا الحدس وبالتالي فهم يتوقّعون أن يؤدي التقدم في فهم وظيفة الدماغ إلى إعطاء نظرة ثاقبة للخبرة الذاتية. لمزيد من التفاصيل، انظر: David Chalmers, «Facing Up to the Problem of Consciousness,» *Journal of Consciousness Studies* 2, no. 3 (1995): 200-19, and David Chalmers, *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory* (Oxford: Oxford University Press, 1997), 125.

26. هناك حالات لا حصر لها في الأدبيات السريرية يؤدي فيها استئصال أجزاء معينة من الدماغ إلى فقدان وظائف دماغية مستهدفة. إحدى هذه الحالات كانت قريبة مني بشكل خاص. فبعد خضوع زوجتي، ترايسي، إلى جراحة دماغية بهدف إزالة ورم خبيث، فقدت زوجتي مؤقتًا القدرة على تحديد مجموعة متنوعة من الأسماء الشائعة. وعلى حد وصفها، بدا الأمر كما لو أن الجراحة اجتثت بنك البيانات الذي تم تخزين معرفتها بأسماء الأشياء المختلفة فيه. كان بمقدورها استحضار صورة ذهنية لمثل هذه الأسماء، مثل زوج من الأحذية الحمراء، لكنها لم تكن قادرة على تسمية الصورة الموجودة في ذهنها.

27. انظر: Giulio Tononi, *Phi: A Voyage from the Brain to the Soul* (New York: Pantheon, 2012); Christof Koch, *Consciousness: Confessions of a Romantic Reductionist* (Cambridge, MA: MIT Press, 2012); Masafumi Oizumi, Larissa Albantakis, and Giulio Tononi, «From the Phenomenology to the Mechanisms of Consciousness: Integrated Information Theory 3.0,» *PLoS Computational Biology* 10, no. 5 (May 2014).

28. انظر: Scott Aaronson, «Why I Am Not an Integrated Information Theorist (or, The Unconscious Expander),» *Shtetl-Optimized*. https://www.scottaaronson.com/blog/?p=1799.

29. انظر: Michael Graziano, *Consciousness and the Social Brain* (New York: Oxford University Press, 2013); Taylor Webb and Michael Graziano, «The attention schema theory: A mechanistic account of subjective awareness,» *Frontiers in Psychology* 6 (2015): 500.

30. إن الإدراك البشري للون أكثر تعقيدًا مما اقترحه وصفي المختصر. تحتوي أعيننا على مستقبلات تتفاوت حساسيتها عبر نطاق من تردّدات الضوء. وبعضها أكثر حساسية للتردّدات المرئية الأعلى، والبعض الآخر للتردّدات الأدنى، والبعض الآخر للتردّدات الواقعة بين الاثنين. وتنشأ الألوان التي تدركها أدمغتنا من مزيج من استجابات المستقبلات المختلفة.

31. كما أوضحت في الملاحظة الختامية السابقة، فهذا محض تبسيط، حيث إن «اللون الأحمر» هو تفسير الدماغ لاتحاد مختلط من الاستجابات تجاه التردّدات المختلفة التي تتلقاها

مستقبلاته البصرية. ومع ذلك، فإن الوصف المبسط ينقل النقطة الأساسية: وهي أن إحساسنا بالألوان هو تمثيل مفيد ولكنه غير دقيق للبيانات المادية المنقولة إلى أعيننا بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية.

32. انظر: David Premack and Guy Woodruff, «Does the chimpanzee have a theoryof mind?» *Cognition and Consciousness in Nonhuman Species,* special issue of *Behavioral and Brain Sciences* 1, no. 4 (1978): 515-26.

33. انظر: Daniel Dennett, *The Intentional Stance* (Cambridge, MA: MIT Press,1989).

34. انظر، على سبيل المثال نموذج دينيت المتعدد في Daniel Dennett, *Consciousness Explained* (Boston: Little, Brown & Co.. 1991), Baar's global workspace theory in Bernard J. Baars, *In the Theater of Conscious-ness* (New York: Oxford University Press, 1997)، ونظرية هامروف وبنروز الاختزالية المتسقة في Stuart Hameroff and Roger Penrose, «Consciousness in the universe: A review of the 'Orch OR' theory.» *Physics of Life Reviews* 11 (2014): 39-78.

35. في حين يمكن إرجاع ميكانيكا الكم كلّها إلى معادلة شرودنجر، ففي العقود التي تلت تقديم النظرية، طور العديد من علماء الفيزياء الصيغة الرياضية الرسمية إلى أبعد من ذلك. وينبثق التنبؤ الناجح الذي أشير إليه من حسابات في مجال لميكانيكا الكم يُعرف باسم الديناميكا الكهربية الكمية، والذي يدمج ميكانيكا الكم مع نظرية ماكسويل للكهرومغناطيسية.

36. ثمة طريقة بديلة للتعبير عن هذا، وهي أنه وفقًا لميكانيكا الكم، ليس للإلكترون، قبل قياسه، موضع بالمعنى التقليدي للمصطلح.

37. كما هو موضح في الملاحظة رقم 5 من الفصل الثالث، هناك نسخة من ميكانيكا الكم تحتفظ فيها الجُسَيْمات بمسارات واضحة ومحدّدة، وبذا تقدم حَلًّا محتملًا لمشكلة القياس الكمي. وحتى وقتنا الحالي، تتبع مجموعة صغيرة من الباحثين حول العالم هذا النهج، الذي يسمى الميكانيكا البومية أو ميكانيكا دي بروي-بوم. وعلى الرغم من أن نهج الميكانيكا البومية يبدو غير واعد، فإنني لن أستبعد تطوره إلى منظور مهيمن في المستقبل. ثمة نهج آخر لحل مشكلة القياس الكمي وهو تفسير العوالم المتعدّدة، الذي وفقه تتحقّق جميع النتائج المحتملة التي يسمح بها التطور الميكانيكي الكمي عند القياس. وثمة اقتراح ثالث هو نظرية جيراردي-ريميني-ويبر، التي تقدّم عملية فيزيائية جديدة وأساسية نادرًا ما تؤدي إلى انهيار موجة الاحتمالية لجُسَيْم فردي ولكن يحدث هذا بشكل عشوائي. بالنسبة إلى المجموعات الصغيرة من الجُسَيْمات، نادرًا ما تؤثر العملية على نتائج التجارب الكمّية الناجحة. ولكن بالنسبة للمجموعات الكبيرة من الجُسَيْمات، تحدث العملية بسرعة أكبر، مما يخلق تأثيرًا يشبه تأثير الدومينو الذي يختار بالضبط نتيجة واحدة ليتم تحقيقها في العالم العياني. لمزيد من التفاصيل، انظر، على سبيل المثال، الفصل السابع من كتاب «نسيج الكون».

38. انظر: Fritz London and Edmond Bauer, *La théorie de l'observation en méca-nique quantique,* No. 775 of *Actualités scientifiques et industrielles; Exposés de physique*

générale, publiés sous la direction de Paul Langevin (Paris: Hermann, 1939), as translated in John Archibald Wheeler and Wojciech Zurek, *Quantum Theory and Measurement* (Princeton: Princeton University Press, 1983), 220.

39. انظر: Eugene Wigner, *Symmetries and Reflections* (Cambridge, MA: MIT Press, 1970).

40. وصف أرسطو الإجراء بأنه «طوعي» إذا بدأ الفعل داخل فاعل معين وانبثق من أفكار ذلك الفاعل نفسه؛ وكان لهذا المنظور، بعد المرور بعدة تحسينات جوهرية، تأثير كبير. انظر: Aristotle, *Nicomachean Ethics*, trans. C. D. C. Reeve (Indianapolis, IN: Hackett Publishing, 2014), 35-41. لم يُدرج أرسطو قوانين الفيزياء الحتمية ضمن القوى الخارجية التي لها القدرة على ممارسة فعل لا طوعي، غير أن أولئك (بمن فيهم أنا) الذين يتدبّرون مثل هذه التأثيرات الأساسية، ولكن غير الشخصية، يجدون أن فكرته عن الفعل «الطوعي» لا تتوافق مع حدسهم في ما يتعلق بالإرادة الحرة.

42. كما ورد في الملاحظة رقم 17 لهذا الفصل، عندما أشير إلى الجُسَيمات التي تشكّل جسمًا عيانيًّا، فإن في هذا اختزال للحالة الفيزيائية الكاملة للجسم. تقليديًّا، يتم تحديد هذه الحالة من خلال مواضع وسرعات المكونات الأساسية للكائن. وفي ميكانيكيا الكم، يتم تحديد الحالة من خلال الدالة الموجية التي تصف مكونات الكائن. وقد يجعلك تركيزي على الجُسَيْمات تتساءل عن المجالات. كما قد يعرف القارئ ذي المعرفة الفنية المتخصصة، فإننا نتعلم في نظرية المجال الكمي أن تأثير المجال ينتقل بواسطة الجُسَيمات (على سبيل المثال، ينتقل تأثير المجال الكهرومغناطيسي بواسطة الفوتونات)، علاوة على ذلك، تُظهِر نظرية المجال الكمي أيضًا أنه يمكن وصف المجال العياني رياضيًّا كتكوين معين للجُسَيْمات؛ ما يسمى *الحالة المتماسكة* للجُسَيْمات. وهكذا فإن إشارتي إلى «الجُسَيْمات» يُقصَد بها أن تشمل المجالات أيضًا. وسيلاحظ القارئ المطلع أيضًا أن بعض السمات الكمية، مثل التشابك الكمي، من الممكن أن تجعل حالة الجسم مفهومة بصورة أدق في النطاق الكمي على عكس النطاق الكلاسيكي. وبالنسبة إلى جُل ما سنناقشه هنا، يمكننا تجاهل هذه التفاصيل الدقيقة، وفي الأساس، يكون التقدّم الكلي المطيع لقوانين الفيزياء للعالم المادي هو كل ما نحتاج إليه.

42. بتعبير أدق، إن احتمال تآمر جزيئات الصخرة على دفع المقعد ضئيل للغاية بحيث يمكن، على المقاييس الزمنية ذات الأهمية، تجاهل الاحتمال الإحصائي لإنقاذ الصخرة لي.

43. تحتوي الأدبيات الفلسفية على الكثير من المقترحات التوافقية. والنهج الذي أصفه هو الأقرب إلى ذلك الذي اقترحه وطوره دانيال دينيت في كتاب *Freedom Evolves* (New York: Penguin Books, 2003) وأيضًا *Elbow Room* (Cambridge, MA: MIT Press, 1984)، اللذين أحيل القارئ إليهما لمزيد من المناقشة المعمقة. كنت أتدبر هذه الأفكار منذ أن دفعتني لويز فوسجيرشيان، إحدى أكثر أساتذتي تأثيرًا، للتفكير فيها للمرة الأولى قبل عقود. كان لدى فوسجيرشيان، أستاذة الموسيقى بجامعة هارفرد، اهتمامًا عميقًا بكيفية ارتباط الاكتشافات العلمية بالحساسيات الجمالية، وطلبت مني أن أكتب عن حرية الإنسان والإبداع من وجهة نظر الفيزياء الحديثة.

44. يعزز الذكاء الاصطناعي والتعلّم الآلي هذه النقطة بدرجة أكبر. فقد طور الباحثون خوارزميات لممارسة ألعاب مثل الشطرنج أو لعبة «جو»، والقادرة على تحديث نفسها بناءً على تحليل نجاح الحركات السابقة أو فشلها. داخل الحاسوب الذي يستضيف مثل هذه الخوارزمية، كل ما لدينا هو جُسَيْمات تتحرّك بهذه الطريقة وتلك تحت السيطرة الكاملة للقانون الفيزيائي. ومع ذلك فإن الخوارزمية تتحسّن. والخوارزمية تتعلم. وتصبح تحركات الخوارزمية مبدعة. بل هي شديدة الإبداع، في الواقع، إلى درجة أنه في غضون ساعات فقط من هذا التحديث الداخلي يمكن للأنظمة الأرقى أن تتقدّم من اللعب على مستوى المبتدئين إلى الفوز على الأساتذة العالميين. انظر: David Silver, Thomas Hubert, Julian Schrittwieser, et al., «A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and Go through self-play,» *Science* 362 (2018): 1140-44.

45. تكمن القضية هنا في أنه إذا كانت «ذاتي» مكافئة لترتيب الجُسَيْمات الذي أتكوّن منه، فهل عندما يتغير هذا الترتيب، من حيث الهيئة والتنظيم، سأظلّ كما أنا؟ وهذه نسخة من الأسئلة الفلسفية المؤرقة -التي تتناول الهوية الشخصية مع مرور الزمن- وأنتجت طيفًا واسعًا من وجهات النظر والاستجابات. أنا منحاز لنهج روبرت نوزيك الذي وفقه، إذا استخدمنا لغة فنية متخصصة إلى حدٍّ ما، نحدد ذاتي المستقبلية عن طريق تقليل دالة المسافة عبر فضاء الذوات المرشحة لهذا الدور، بحيث نبحث عن الشخص الذي «يواصل عن كثب» الوجود الذي كنت عليه حتى هذه اللحظة. إن تحديد دالة المسافة أمر ضروري بالطبع، ويذكر نوزيك أن الأشخاص الذين لديهم تأكيدات مختلفة للجوانب المحدّدة للشخصية قد يتّخذون خيارات مختلفة. وفي كثير من الحالات، تكون الفكرة البديهية الخاصة بالذات التي «تواصل عن كثب» ملازمتي ملائمة، ولكن يمكن للمرء أن يبني أمثلة مصطنعة ولكنها محيرة. على سبيل المثال، تخيل أن ثمة عطلًا أصاب ناقلًا وأنتج نسختين متطابقتين مني في الوجهة المستهدفة. ما هي مجموعة الجُسَيْمات التي تمثلني «حقًا»؟ في هذه الحالة، يقترح نوزيك أنه من دون نسخة فريدة ملاصقة عن كثب، قد لا أكون موجودًا. ومع ذلك، بما أنني أشعر بالراحة مع التصغير غير الفريد لدوال المسافة، فإن وجهة نظري هي أن كلتا النسختين ستكونان أنا. بالنسبة لمفهوم «أنا» المستخدم في الفصل، يتماشى المفهوم الحدسي للهوية الشخصية مع فكرة نوزيك، نظرًا إلى أن مجموعات الجُسَيْمات المختلفة التي نسميها بالبديهة، مثلًا، «برايان جرين» طوال حياتي هي في الواقع أقرب نسخة متصلة. انظر: Robert Nozick, *Philosophical Explanations* (Cambridge, MA: Belknap Press, 1983), 29-70.

46. السؤال الذي تطرحه هذه المناقشة هو ما إذا كان ينبغي عليك تحمل تبعات سلوك يعتبره المواطنون أو المجتمع غير مقبول. ولطالما ناقش الفلاسفة أسئلة تقع عند نقاط التقاطع بين الإرادة الحرة والمسؤولية الأخلاقية ودور العقاب. والقضايا معقدة وشائكة. وها هي وجهة نظري باختصار: للأسباب نفسها الواردة في الفصل، فإن أفعالك -سواء أكانت صالحة أم طالحة- هي مسؤوليتك أنت، حتى في غياب الإرادة الحرة. فأنت عبارة عن جُسَيْماتك، وإذا ارتكبت جُسَيْماتك خطأً، فقد ارتكبت أنت خطأً. القضية الحقيقية، إذًا، هي: ما العواقب؟ وبغض النظر عن حقيقة أن عواقب الأفعال ليست نابعة أيضًا من الإرادة الحرة، فإن السؤال هو ما إذا كان ينبغي أن تتعرّض للعقاب.

والإجابة الوحيدة التي أجدها منطقية، أو، في الحقيقة، البداية الوحيدة للإجابة التي أجدها منطقية، هي أن العقاب يجب أن يقوم على قدرته على حماية المصالح المجتمعية، بما في ذلك ردع الحالات المستقبلية للسلوك غير المقبول. ومجدّدًا، الإرادة الحرة متوافقة مع التعلم، فمكنسة الرومبا تتعلّم، وكذلك يتعلم البشر. إن خبرات اليوم مرتبطة ارتباطًا سببيًّا بأفعال الغد. لذلك إذا كان العقاب يمنعك أو يثنيك أنت والآخرين عن القيام بأعمال تالية غير مقبولة، فهكذا نكون قد وجهنا المجتمع من خلال العقاب نحو نتيجة أكثر إرضاءً. وثمة اعتبارات مماثلة ذات صلة بـ«الحالات الاختبارية» التي غالبًا ما تُثار في هذه المناقشات والتي تكون فيها السلوكيات غير المقبولة ناتجة عن ظروف مخففة (الأورام الدماغية، والإكراه، والفصام، والغرسات العصبية التي تتحكّم فيها كائنات فضائية خبيثة، وما إلى ذلك)، والتي يبدو أنها تحرر الجاني من المسؤولية. وجهة النظر التي تترتب على المناقشة السابقة والمناقشة الواردة في الفصل هي أن هؤلاء الأفراد مسؤولون بالفعل عن أفعالهم. فقد فعلت جُسَيْماتهم أشياءَ غير مقبولة. وهم وجُسَيْماتهم نفس الشيء. ومع ذلك، مع مراعاة التفاصيل الدقيقة لأي حالة معينة، فبسبب الظروف المخففة ربما لا يؤدي العقاب إلى تحقيق أي فائدة. فإذا كان سلوكك غير المقبول ناتجًا عن ورم في المخ، فمن المحتمل ألّا يكون لعقابك أي دور في ردع السلوك المماثل الذي ستسببه ظروف مماثلة في المستقبل. وإذا تمكنا من إزالة الورم، فلن تشكل أي تهديد بعد الآن، وهكذا فإن العقاب لن يوفر للمجتمع حماية إضافية. باختصار، يجب أن يخدم العقاب غرضًا عمليًّا.

الفصل السادس: اللغة والقصة

1. انظر: Alice Calaprice, ed., *The New Quotable Einstein* (Princeton: Princeton University Press, 2005), 149.
2. انظر: Max Wertheimer, *Productive Thinking,* enlarged ed. (New York: Harperand Brothers, 1959), 228.
3. انظر: Ludwig Wittgenstein, *Tractatus Logico-Philosophicus* (New York: Har-court, Brace & Company, 1922), 149.
4. انظر: Toni Morrison, Nobel Prize lecture, 7 December 1993. https://www.nobelprize.org/prizes/literature/1993/morrison/lecture/.
5. كما كتب داروين: «ربما استخدم الرجل البدائي، أو بالأحرى أحد الأسلاف الأوائل للإنسان، صوته للمرة الأولى في إنتاج إيقاعات موسيقية حقيقية، أي في الغناء»، وأضاف: «هذه القدرة كانت ستُمارَس بشكل خاص أثناء مغازلة الجنسين، إذ كانت ستعبّر عن مشاعر مختلفة، مثل الحب والغيرة والانتصار، وكانت ستشكل تحديًا للمنافسين». Charles Darwin, *The Descent of Man* (New York: D. Appleton and Company, 1871), 56.
6. في طبعة أبريل 1869 من مجلة *Quarterly Review*، ذهب والاس، في إشارة إلى القوى الدافعة للتطور –«قوانين التنوّع والتضاعف والبقاء»– وكما هو مذكور في الفصل، إلى أنه «يجب علينا بالتالي أن نعترف باحتمالية أنه، في تطور الجنس البشري، استرشد الذكاء العالي بنفس القوانين لتحقيق غايات أنبل». Alfred Russel Wallace, «Sir Charles Lyell on geological climates

.and the origin of species,» *Quarterly Review* 126 (1869): 359-94

7. انظر: Joel S. Schwartz, «Darwin, Wallace, and the *Descent of Man,*» *Journal of the History of Biology* 17, no. 2 (1984): 271-89.

8. خطاب من تشارلز داروين إلى ألفريد راسل والاس، 27 مارس، 1869. https://www.darwinproject.ac.uk/letter/?docId=letters/DCP-LETT -6684.xml;query=child;brand=default.

9. Dorothy L. Cheney and Robert M. Seyfarth, *How Monkeys See the World: Inside the Mind of Another Species* (Chicago: University of Chi-cago Press, 1992). يمكن الاستماع إلى تسجيل لهذه النداءات التحذيرية على صفحة هيئة الإذاعة البريطانية على الإنترنت: https: / /www.bbc.co.uk /sounds /play /p016dgw1.

10. انظر: Bertrand Russell, *Human Knowledge* (New York: Routledge, 2009), 57-58.

11. انظر: R. Berwick and N. Chomsky, *Why Only Us?* (Cambridge, MA: MIT Press, 2015). على الرغم من أن البعض قد تساءل عما إذا كانت حاجة الاقتراح إلى تغيير بيولوجي سريع نسبيًا تخلق توترًا مع فهم التطور، فقد ذهب تشومسكي إلى أنه يتناسب تمامًا مع المنظور الدارويني الجديد الحديث الذي يشمل الحوادث البيولوجية، مثل تكوين العين، التي تحيد عن وجهة النظر التقليدية القائلة بأن تطور كل الأشياء بطيء وتدريجي.

12. انظر: S. Pinker and P. Bloom, «Natural language and natural selection,» *Behavioral and Brain Sciences* 13, no. 4 (1990): 707-84; Steven Pinker, *The Language Instinct* (New York: W. Morrow and Co., 1994); Steven Pinker, «Language as an adaptation to the cognitive niche,» in *Language Evolution: States of the Art,* ed. S. Kirby and M. Christiansen (New York: Oxford University Press, 2003), 16-37.

13. على سبيل المثال، كما أشار عالم اللغويات واختصاصي علم النفس النمائي مايكل توماسيلو: «بالتأكيد، تشترك كل لغات العالم في أشياء... لكن هذه القواسم المشتركة ليست نابعة من أي قواعد عامة، بل تأتي من الجوانب العالمية للإدراك البشري والتفاعل الاجتماعي ومعالجة المعلومات، والتي كان معظمها موجودًا في البشر قبل ظهور أي شيء يشبه اللغات الحديثة ولو من بعيد». Michael Tomasello, «UniversalGrammar Is Dead,» *Behavioral and Brain Sciences* 32, no. 5 (October 2009): 470-71.

14. انظر: Simon E. Fisher, Faraneh Vargha-Khadem, Kate E. Watkins, Anthony P. Monaco, and Marcus E. Pembrey, «Localisation of a gene implicated in a severe speech and language disorder,» *Nature Genetics* 18 (1998): 168-70. C. S. L. Lai, et al., «A novel forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder,» *Nature* 413 (2001): 519-23.

15. انظر: Johannes Krause, Carles Lalueza-Fox, Ludovic Orlando, et al., «The Derived FOXP2 Variant of Modern Humans Was Shared with Nean-dertals,» *Current Biology* 17 (2007): 190812.

16. انظر: Fernando L. Mendez et al. «The Divergence of Neandertal and Modern Human Y Chromosomes,» *American Journal of Human Genetics* 98, no. 4 (2016): 72834.
17. انظر: Guy Deutscher, *The Unfolding of Language: An Evolutionary Tour of Mankind's Greatest Invention* (New York: Henry Holt and Company, 2005), 15.
18. انظر: Dean Falk, «Prelinguistic evolution in early hominins: Whence motherese?»: *Behavioral and Brain Sciences* 27 (2004): 491-541; Dean Falk, *Finding Our Tongues: Mothers, Infants and the Origins of Language* (New York: Basic Books, 2009).
19. انظر: R. I. M. Dunbar, «Gossip in Evolutionary Perspective,» *Review of General Psychology* 8, no. 2 (2004): 100-10; Robin Dunbar, *Groom-ing, Gossip, and the Evolution of Language* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1997).
20. انظر: N. Emler, «The Truth About Gossip,» *Social Psychology Section Newslet-ter* 27 (1992): 23-37; R. I. M. Dunbar, N. D. C. Duncan, and A. Marriott, «Human Conversational Behavior,» *Human Nature* 8, no. 3 (1997): 231-46.
21. انظر: Daniel Dor, *The Instruction of Imagination* (Oxford: Oxford University Press, 2015).
22. بالنسبة إلى دور إشعال النار والطهو، انظر: Richard Wrangha, *Catching Fire: How Cooking Made Us Human* (New York: Basic Books; 2009)، ودور الرعاية الجماعية للصغار، انظر: Sarah Hrdy, *Mothers and Others: The Evolutionary Origins of Mutual Understanding* (Cambridge, MA: Belknap Press, 2009)، ودور التعلم والتعاون، انظر: Kim Sterelny, *The Evolved Apprentice: How Evolution Made Humans Unique* (Cam-bridge, MA: MIT Press, 2012).
23. انظر: R. Berwick and N. Chomsky, *Why Only Us?* (Cambridge, MA: MIT Press, 2015), chapter 2.
24. انظر: David Damrosch, *The Buried Book: The Loss and Rediscovery of the Great Epic of Gilgamesh* (New York: Henry Holt and Company, 2007).
25. انظر: Andrew George, trans., *The Epic of Gilgamesh: The Babylonian Epic Poem and Other Texts in Akkadian and Sumerian* (London: Penguin Classics, 2003).
26. للاطلاع على مقدّمة إلى منظور ومبادئ علم النفس التطوري، انظر: John Tooby and LedaCosmides, «The Psychological Foundations of Culture,» in *The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture,* ed. Jerome H. Barkow, Leda Cosmides, and John Tooby (Oxford: Oxford University Press, 1992), 19-136; David Buss, *Evolutionary Psychology: The New Science of the Mind* (Boston: Allyn & Bacon, 2012).
27. انظر: S. J. Gould and R. C. Lewontin, «The Spandrels of San Marco and the

Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme,» *Proceedings of the Royal Society B* 205, no. 1161 (21 September 1979): 581-98.

28. انظر: ;Steven Pinker, *How the Mind Works* (New York: W. W. Norton, 1997),530 Brian Boyd, *On the Origin of Stories* (Cambridge, MA: Belknap Press, 2010); Brian Boyd, «The evolution of stories: from mimesis to language, from fact to fiction,» *WIREs Cognitive Science* 9 (2018): e1444.

29. انظر: Patrick Colm Hogan, *The Mind and Its Stories* (Cambridge: Cam-bridgeUniversity Press, 2003); Lisa Zunshine, *Why We Read Fiction: Theory of Mind and the Novel* (Columbus: Ohio State University Press. 2006).

30. انظر: Jonathan Gottschall, *The Storytelling Animal* (Boston and New York: Mariner Books, Houghton Mifflin Harcourt, 2013), 63.

31. انظر: Keith Oatley, «Why fiction may be twice as true as fact,» *Review of General Psychology* 3 (1999): 101-17.

32. للاطلاع على شروحات لأعمال جوفيت، انظر: Barbara E. Jones, «The mysteries of sleep and waking unveiled by Michel Jouvet,» *Sleep Medi-cine* 49 (2018): 14-19; Isabelle Arnulf, Colette Buda, and Jean-Pierre Sastre, «Michel Jouvet: An explorer of dreams and a great storyteller,» *Sleep Medicine* 49 (2018): 4-9.

33. انظر: Kenway Louie and Matthew A. Wilson, «Temporally Structured Replay of Awake Hippocampal Ensemble Activity During Rapid Eye Move-ment Sleep,» *Neuron* 29 (2001): 145-56.

34. قد توحي السرديات الجامحة التي نربطها غالبًا بالأحلام -انتهاك القانون الفيزيائي والتتابع المنطقي والتماسك الداخلي- بأن فعل الحلم ليس له أهمية تذكر في لقاءات العالم الحقيقي. ومع ذلك، فإن انتشار مثل هذه الأحلام الغريبة قد يكون أقل بكثير مما توحي به تقييماتنا المبنية على القصص المرسلة. وبدلًا من ذلك، قد يكون لجزء كبير من أحلامنا محتوى واقعي. Antti Revonsuo, Jarno Tuominen, andKatja Valli, «The Avatars in the MachineDreaming as a Simulation of Social Reality,» *Open MIND* (2015): 1-28; Serena Scarpelli, Chiara Bartolacci, Aurora D'Atri, et al., «The Functional Role of Dreaming in Emotional Processes,» *Frontiers in Psychology* 10 (March 2019): 459.

35. انظر: Alfred North Whitehead, *Science and the Modern World* (New York:Free Press, 1953), 10.

36. انظر: Joyce Carol Oates, «Literature as Pleasure, Pleasure as Literature,»*Narrative*. https://www.narrativemagazine.com/issues/stories-week -2015-2016/story-week/literature-pleasure-pleasure-literature-joyce -carol-oates.

37. انظر: Jerome Bruner, «The Narrative Construction of Reality,» *Critical Inquiry* 18,

.no. 1 (Autumn 1991): 121

38. انظر: Jerome Bruner, *Making Stories: Law, Literature, Life* (New York: Farrar,Straus and Giroux, 2002), 16.

39. انظر: Brian Boyd, «The evolution of stories: from mimesis to language, fromfact to fiction,» *WIREs Cognitive Science* 9 (2018): 78, e1444.

40. انظر: John Tooby and Leda Cosmides, «Does Beauty Build Adapted Minds?Toward an Evolutionary Theory of Aesthetics, Fiction and the Arts,» *SubStance* 30, no. 1/2, issue 94/95 (2001): 627.

41. انظر: Ernest Becker, *The Denial of Death* (New York: Free Press, 1973), 97.

42. انظر: Joseph Campbell, *The Hero with a Thousand Faces* (Novato, CA: New World Library, 2008), 23.

43. انظر: Michael Witzel, *The Origins of the World's Mythologies* (New York:Oxford University Press, 2012).

44. انظر: Karen Armstrong, *A Short History of Myth* (Melbourne: The Text Publishing Company, 2005), 3.

45. انظر: Marguerite Yourcenar, *Oriental Tales* (New York: Farrar, Straus and Giroux,, 1985).

46. انظر: Scott Leonard and Michael McClure, *Myth and Knowing* (New York:McGraw-Hill Higher Education, 2004), 283-301.

47. انظر: Michael Witzel, *The Origins of the World's Mythologies* (New York: Oxford University Press, 2012), 79.

48. انظر: Dan Sperber, *Rethinking Symbolism* (Cambridge: Cambridge University Press, 1975); Dan Sperber, *Explaining Culture: A Naturalistic Approach* (Oxford: Blackwell Publishers Ltd., 1996).

49. انظر: Pascal Boyer, «Functional Origins of Religious Concepts: Ontologicaland Strategic Selection in Evolved Minds,» *Journal of the Royal Anthro-pological Institute* 6, no. 2 (June 2000): 195-214. See also M. Zucker-man, «Sensation seeking: A comparative approach to a human trait,» *Behavioral and Brain Sciences* 7 (1984): 41371.

50. أكد برتراند راسل على دور اللغة في تسهيل الفكر، مُشيرًا إلى أن «اللغة لا تخدم فقط التعبير عن الأفكار، بل تجعل الأفكار التي لا يمكن أن توجد دونها ممكنة». Bertrand Russell, *Human Knowledge* [New York: Routledge, 2009], 58. وقد وصف كيف أن بعض «الأفكار المعقدة إلى حدٍّ ما» تتطلب كلمات، وكمثال يشير إلى الاستحالة الواضحة، من دون لغة، لوجود «أي تفكير يتوافق بشكل وثيق مع ما تشدد عليه الجملة» نسبة محيط الدائرة إلى قطرها تساوي 3,14159 تقريبًا». إن التراكيب الأقل دقة، ولكن تلك التي تتجاوز حدود الخبرة، مثل الأشجار

المتكلمة أو الغيوم الباكية أو الحصى السعيدة، قابلة للتجسد بلا كلمات في العقل البشري، لكن الطبيعة التوليفية والهرمية للغة مناسبة بشكل خاص لإنشائها. وشدد دانيال دينيت على دور اللغة في قدرة الإنسان على ابتكار اتحادات للصفات التي توجد بشكل فردي في الواقع ولكنها تأخذنا مجتمعة إلى عالم الخيال (Daniel Dennett, *Breaking the Spell: Religion as a Natural Phenomenon* [New York: Penguin Publishing Group, 2006], 121). وكما سنناقش في الفصل الثامن، فبعض أنواع الفن بارعة بشكل خاص في تسهيل تدفق الأفكار في الاتجاه الآخر: من الأفكار المُعبر عنها بالكلمات إلى المشاعر التجريبية الخالية من اللغة.

51. انظر: Justin L. Barrett, *Why Would Anyone Believe in God?* (Lanham, MD: AltaMira, 2004); Stewart Guthrie, *Faces in the Clouds: A New Theory of Religion* (New York: Oxford University Press, 1993).

الفصل السابع: الأدمغة والإيمان

1. بدأت أعمال التنقيب في منطقة القفزة في العام 1934، على يد عالم الآثار الفرنسي رينيه نوفيل، وقام بها فريق بقيادة عالم الأنثروبولوجيا برنارد فاندرميرش. وعلى حد تعبير فاندرميرش وفريقه، فإن ترتيب دفن القفزة 11 «يشهد على قربان جنائزي وليس دفنًا عرضيًا. كل هذه الملاحظات تدعم بقوة تفسير الدفن المتعمد والاحتفالي». انظر: Hélène Coqueugniot et al., «Earliest cranio-encephalic traumafrom the Levantine Middle Palaeolithic: 3D reappraisal of the Qafzeh 11 skull, consequences of pediatric brain damage on individual life condition and social care,» *PloS One* 9 (23 July 2014): 7 e102822.
2. انظر: Erik Trinkaus, Alexandra Buzhilova, Maria Mednikova, and Maria Dobrovolskaya, *The People of Sunghir: Burials, Bodies and Behavior in the Earlier Upper Paleolithic* (New York: Oxford University Press, 2014).
3. انظر: Edward Burnett Tylor, *Primitive Culture,* vol. 2 (London: John Murray 1873; Dover Reprint Edition, 2016), 24.
4. انظر: Mathias Georg Guenther, *Tricksters and Trancers: Bushman Religion and Society* (Bloomington, IN: Indiana University Press, 1999), 18098.
5. انظر: Peter J. Ucko and Andrée Rosenfeld, *Paleolithic Cave Art* (New York: McGraw-Hill, 1967), 117-23, 165-74.
6. انظر: David Lewis-Williams, *The Mind in the Cave: Consciousness and the Origins of Art* (New York: Thames & Hudson, 2002), 11. على الرغم من إنشاء العديد من الأعمال على أسطح يسهل الوصول إليها أيضًا، Yلّا أن وجود مجموعة كبيرة من الأعمال تم تنفيذها بصعوبة يعطي هذا المنظور أهمية.
7. انظر: Salomon Reinach, *Cults, Myths and Religions,* trans. Elizabeth Frost(London: David Nutt, 1912), 124-38.
8. اكتسب الاقتراح رواجًا واسعًا، لكن الاكتشاف اللاحق لعدم التوافق بين الحيوانات التي تم

العثور على عظامها بالقرب من العديد من الكهوف وتلك المصورة على جدران تلك الكهوف يثير الشك. فإذا كنت تبحث عن القليل من الحظ الإضافي في صيد ثيران البيسون، فستقوم برسم ثور بيسون. أو هكذا نعتقد. لكن البيانات فشلت في إثبات صحة هذا التوقع. انظر:Jean Clottes, *What Is Paleolithic Art? Cave Paintings and the Dawn of Human Creativity* .(Chicago: University of Chicago Press, 2016)

9. انظر: Benjamin Smith, personal communication, 13 March 2019.

10. انظر:Pascal Boyer, *Religion Explained: The Evolutionary Origins of Religious* .*Thought* (New York: Basic Books, 2007), 2

11. للاطلاع على مناقشة تفصيلية، انظر على سبيل المثال: *The Adapted Mind: Evolution-ary Psychology and the Generation of Culture,* Jerome H. Barkow, Leda Cosmides, and John Tooby, eds. (Oxford: Oxford University Press, 1992); David Buss, *Evolutionary* .*Psychology: The New Science of Mind* (Boston: Allyn & Bacon, 2012)

12. للاطلاع على إسهامات أخرى سهلة الاستيعاب في العلم المعرفي للدين، انظر على سبيل المثال: Justin L. Barrett, *Why Would Anyone Believe in God?* (Lanham, MD: AltaMira Press, 2004); Scott Atran, *In Gods We Trust: The Evolutionary Landscape of Religion* (Oxford: Oxford University Press, 2002); Todd Tremlin, *Minds and Gods:* .*The Cognitive Founda-tions of Religion* (Oxford: Oxford University Press, 2006)

13. انظر:Pascal Boyer, *Religion Explained: The Evolutionary Origins of Religious Thought* (New York: Basic Books, 2007), 46-47; Daniel Dennett, *Breaking the Spell: Religion as a Natural Phenomenon* (New York: Penguin Books, 2006), 122-23; Richard Dawkins, *The God Delusion* (New York: Houghton Mifflin Harcourt, .2006), 230-33

14. وُصف انتخاب القرابة (أو الصلاحية الشاملة) للمرة الأولى على يد داروين، وجرى تطوير المفهوم بدرجة أكبر في: R. A. Fisher, *The Genetical Theory of Natural Selection* (Oxford: Clarendon Press, 1930); J. B. S. Haldane, *The Causes of Evolu-tion* (London: Longmans, Green & Co., 1932); and W. D. Hamilton, «The Genetical Evolution of Social Behaviour,» *Journal of Theoretical Biology* 7, no. 1 (1964): 1-16. ومؤخرًا، قوبلت فائدة الصلاحية الشاملة في فهم النمو التطوري بالاعتراض في M. A. Nowak, C. E. Tarnita, and E. O. Wilson, «The evolution of eusociality,» *Nature* 466 (2010): 1057-62, with a critical response signed by 136 researchers: P. Abbot, J. Abe, J. Alcock, et .al., «Inclusive fitness theory and eusociality,» *Nature* 471 (2010): E1-E4

15. انظر: David Sloan Wilson, *Does Altruism Exist? Culture, Genes and the Wel-fare of Others* (New Haven: Yale University Press, 2015); David Sloan Wilson, *Darwin's Cathedral: Evolution, Religion and the Nature of Society* (Chicago: University of

.Chicago Press, 2002)

16. انظر على سبيل المثال: Steven Pinker in «The Believing Brain,» World Sci-ence Festival public program, New York City, Gerald Lynch Theatre, 2 June 2018, https://www.worldsciencefestival.com/videos/believing -brain-evolution-neuroscience-spiritual-instinct/46:50-49:16

17. انظر: Charles Darwin, *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex* (New York: D. Appleton and Company, 1871), 84. Kindle. يتوافق تعليق داروين مع نقاش طويل الأمد في نظرية التطور حول عملية *الانتخاب الجماعي*. تستند النظرية التطورية القياسية إلى أن الانتخاب الطبيعي يؤثر على الكائنات الحية المنفردة: فتلك الكائنات الحية الأكثر قدرة على البقاء والتكاثر ستكون أكثر نجاحًا في نقل مادتها الوراثية إلى الأفراد اللاحقين. الانتخاب الجماعي هو نوع مشابه من الانتخاب ولكنه يعمل على مجموعات كاملة: بمعنى أن تلك المجموعات القادرة بشكل أفضل على البقاء (كمجموعات كاملة من الأفراد) والتكاثر (بمعنى اكتساب أعداد أكبر وإنشاء مجموعات جديدة) سوف تكون أكثر نجاحًا في تمرير السمات المهيمنة إلى المجموعات اللاحقة. (تركز ملاحظة داروين على إسهام الأفراد المتعاونين في نجاح المجموعة، ويتجلى ذلك في زيادة عدد أفراد المجموعة في مقابل إنتاج المجموعة أعداد أكبر من المجموعات المماثلة، ولكنها لا تزال تعتمد على التفاعل الأساسي بين السلوكيات المفيدة للفرد وتلك التي تعود بالنفع على المجموعة.) لا يوجد جدل حول ما إذا كان الانتخاب الجماعي يمكن أن يحدث من الناحية النظرية. ويدور الجدل حول ما إذا كان الانتخاب الجماعي يحدث في الواقع الفعلي أم لا. المسألة مرتبطة بالنطاقات الزمنية: التوقع العام هو أن النطاق الزمني النموذجي الذي يتكاثر الفرد خلاله أو يموت أقصر بكثير من النطاقات الزمنية المقابلة التي تنقسم خلالها المجموعة أو تتفكك. وإذا كان هذا هو الحال، كما يرى منتقدو الانتخاب الجماعي، فإن الانتخاب الجماعي سيكون بطيئًا للغاية بحيث لا يكون له أي أهمية. وردًا على ذلك، ذهب ديفيد سلون ويلسون، وهو مؤيد منذ فترة طويلة للانتخاب الجماعي (في شكل أكثر عمومية يُعرف بالانتخاب المتعدد المستويات)، إلى أن الكثير من النقاش يدور حول أساليب الحساب المختلفة ولكن المتكافئة في النهاية (أي الطرق المختلفة لتقسيم مجموعة السكان)، ومن ثم فهو أقل إثارة للجدل مما أظهرته الخلافات المستمرة. (انظر: David Sloan Wilson, *Does Altruism Exist? Culture, Genes and the Welfare of Others* [New Haven: Yale University Press, 2015], 31-46)

18. خضعت أهمية الأساس الشعوري للالتزام الديني في R. Sosis, «Religion and intra-group cooperation: Pre-liminary results of a comparative analysis of utopian communities,» *Cross-Cultural Research* 34 (2000): 70-87; R. Sosis and C. Alcorta, «Signaling, solidarity, and the sacred: The evolution of religious behav-ior,» *Evolutionary Anthropology* 12 (2003): 264-74.

19. انظر: Robert Axelrod and William D. Hamilton, «The Evolution of Coop-eration,» *Science* 211 (March 1981): 1390-96; Robert Axelrod, *The Evolution of Cooperation,*

.rev. ed. (New York: Perseus Books Group, 2006)

20. انظر: .Jesse Bering, *The Belief Instinct* (New York: W. W. Norton, 2011)

21. انظر: Sheldon Solomon, Jeff Greenberg, and Tom Pyszczynski, *The Worm at the Core: On the Role of Death in Life* (New York: Random House Publishing Group, 2015), 122.

22. انظر: Abram Rosenblatt, Jeff Greenberg, Sheldon Solomon, et al., «Evidence for Terror Management Theory I: The Effects of Mortality Salience on Reactions to Those Who Violate or Uphold Cultural Values,» *Journal of Personality and Social Psychology* 57 (1989): 681-90. For a review, see Sheldon Solomon, Jeff Greenberg, and Tom Pyszczynski, «Tales from the Crypt: On the Role of Death in Life,» *Zygon* 33, no. 1 (1998): 9-43.

23. انظر: Tom Pyszczynski, Sheldon Solomon, and Jeff Greenberg, «Thirty Years of Terror Management Theory,» *Advances in Experimental Social Psychology* 52 (2015): 170.

24. انظر: Pascal Boyer, *Religion Explained: The Evolutionary Origins of Religious Thought* (New York: Basic Books, 2007), 20.

25. انظر: William James, *The Varieties of Religious Experience: A Study in Human Nature* (New York: Longmans, Green, and Co., 1905), 485.

26. انظر: Stephen Jay Gould, *The Richness of Life: The Essential Stephen Jay Gould* (New York: W. W. Norton, 2006), 23233.

27. انظر: Stephen J. Gould, in *Conversations About the End of Time* (New York: Fromm International, 1999). للاطلاع على دراسة تتناول تأثير الوعي الأخلاقي على الإيمان بالكيانات الخارقة للطبيعة، انظر على سبيل المثال: A. Noren-zayan and I. G. Hansen, «Belief in supernatural agents in the face of death,» *Personality and Social Psychology Bulletin* 32 (2006): 17487.

28. انظر: Karl Jaspers, *The Origin and Goal of History* (Abingdon, UK: Routledge, 2010), 2.

29. انظر: Wendy Doniger, trans., *The Rig Veda* (New York: Penguin Classics, 2005), 25-26.

30. قداسة الدالاي لاما، هيوستن، تكساس، 21 سبتمبر 2005. لم أتمكن من تحديد نص المحادثة، غير أن هذه إعادة صياغة قريبة لرده.

31. كما هو الحال مع الجذور التاريخية لجميع الأديان الرئيسية، يدور نقاش بحثي حول متى بالضبط كُتِبَت النصوص المختلفة، ومتى وصلت إلى شكلها الرسمي النهائي، وما إلى ذلك. التواريخ التي ذكرتها متوافقة مع بعض الآراء العلمية، ولكنْ نظرًا لعدم وجود اتفاق عام، يجب النظر إليها على أنها تقدّم مخططًا تقريبيًا فقط.

32. انظر: David Buss, *Evolutionary Psychology: The New Science of Mind* (Boston:

.Allyn & Bacon, 2012), 90-95, 205-206, 405-409

33. للاطلاع على مناقشة متعمقة وسهلة الاستيعاب للإيمان البشري والعوامل المتعددة المؤثرة عليه، انظر: Michael Shermer, *The Believing Brain: From Ghosts and Gods to Politics and Conspiracies* (New York: St. Martin's Griffin, 2011). على الرغم من التأثير الذي يمكن أن تخلفه المشاعر على الإيمان يبدو واضحًا، فحتى وقت قريب كانت الأبحاث تميل إلى التشديد على تأثير الإيمان على المشاعر، وهي النقطة محل التأكيد في N. Frijda, A. S. R. Manstead, and S.Bem, «The influence of emotions on belief,» in *Emotions and Beliefs: How Feelings Influence Thoughts* (Studies in Emotion and Social Interaction), ed. N. Frijda, A. Manstead, and S. Bem (Cambridge: Cambridge University Press, 2000), 19. وثمة دراسة عن تأثير المشاعر على ترسيخ الإيمان في سياقات لم يحدث فيها هذا من قبل، علاوة على تأثير المشاعر على الاستعداد لتغيير المعتقدات، موصوفة في N. Frijda and B.Mesquita. «Beliefs through emotions,» in *Emotions and Beliefs: How Feelings Influence Thoughts* (Studies in Emotion and Social Interac-tion), ed. N. Frijda, A. Manstead, and S. Bem (Cambridge: Cambridge University Press, 2000), 4577.

34. انظر: Pascal Boye., *Religion Explained: The Evolutionary Origins of Religious Thought* (New York: Basic Books, 2007), 303.

35. انظر: Karen Armstrong, *A Short History of Myth* (Melbourne: The TextPublishing Company, 2005), 57.

36. المرجع السابق.

37. انظر: Guy Deutscher, *The Unfolding of Language: An Evolutionary Tour of Mankind's Greatest Invention* (New York: Henry Holt and Company, 2005).

38. انظر: William James, *The Varieties of Religious Experience: A Study in Human Nature* (New York: Longmans, Green and Co., 1905), 498.

39. المرجع السابق، ص 506–507.

الفصل الثامن: الغريزة والإبداع

1. انظر: Howard Chandler Robbins Landon, *Beethoven: A Documentary Study* (New York: Macmillan Publishing Co., Inc., 1970), 181.

2. انظر: Friedrich Nietzsche, *Twilight of the Idols,* trans. Duncan Large (Oxford: Oxford University Press, 1998, reissue 2008), 9.

3. انظر: George Bernard Shaw, *Back to Methuselah* (Scotts Valley, CA:Create Space Independent Publishing Platform, 2012), 277.

4. انظر: David Sheff, «Keith Haring, An Intimate Conversation,» *Rolling Stone* 589 (August 1989): 47.

5. انظر: Josephine C. A. Joordens et al., «*Homo erectus* at Trinil on Java used shells for

.tool production and engraving,» *Nature* 518 (12 February 2015): 228-31

6. بتعبير أدق، ما يهم هو انتقال جينات المرء إلى الجيل التالي، وهو هدف يمكن تحقيقه من خلال وجود ذرية، أو عبر ضمان أن أفرادًا آخرين مشتركين في جزء كبير من جينات المرء لديهم ذرية.

7. طقوس المغازلة لدى عصافير القرقرون ذات اللحية البيضاء موصوفة بإسهاب في Richard Prum,*The Evolution of Beauty: How Darwin's Forgotten Theory on Mate Choice Shapes the Animal World and Us* (New York: Doubleday, 2017), 1544-45, Kindle. ومضات اليراعات واختيار الشركاء موضحة في S. M. Lewis and C. K. Cratsley,»Flash signal evolution, mate choice, and predation in fireflies,»*Annual Review of Entomology* 53 (2008): 293321. وأعشاش طيور التعريشة موصوفة وموضحة في: Peter Rowland, *Bowerbirds* (Collingwood, Australia: CSIRO Publishing, 2008), especially pages 4047.

8. كانت مقاومة الانتخاب الجنسي ترجع أيضًا جزئيًا إلى القوة الانتخابية التي تم التنازل عنها للإناث التي تختار، وهو اقتراح كان منفرًا في نظر علماء البيولوجيا الفيكتوريين، وجميعهم من الذكور تقريبًا. انظر على سبيل المثال: H. Cronin, *The Ant and the Peacock: Altruism and Sexual Selection from Darwin to Today* (Cambridge: Cambridge University Press, 1991). لاحظ أيضًا أن هناك أمثلة لأنواع يلعب فيها الذكر دور المختار، وكذلك أنواع يشارك فيها كل من الذكور والإناث في هذا الدور.

9. انظر: Charles Darwin, *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex,* ill.ed. (New York: D. Appleton and Company, 1871), 59.

10. قدّم والاس تفسيرات بديلة للزخارف الجسدية الذكورية، مثل امتلاك الذكور «قوة زائدة»، والتي، في غياب أي منفذ آخر متاح، من شأنها أن تؤدّي إلى ظهور ألوان نابضة بالحياة، وذيول طويلة، ونداءات مطوّلة، وما إلى ذلك. كما ذهب إلى أن الزينة الجسدية الجذّابة مرتبطة بالضرورة بالصحة والقوة، وبالتالي تقدم مؤشرات خارجية للصلاحية، مما يجعل الانتخاب الجنسي ليس أكثر من مثال محدّد للانتخاب الطبيعي. انظر: Alfred Russel Wallace, *Natural Selection and Tropical Nature* (London: Macmillan and Co., 1891). ويرى عالِم الطيور ريتشارد بروم أن الباحثين استبعدوا بشكل غير مبرر الإحساسات الجمالية الجوهرية لصالح التفسيرات التكيفية، وهو موقف مثير للجدل قدّمه في *The Evolution of Beauty: How Darwin's Forgotten Theory on Mate Choice Shapes the Animal World and Us* (New York: Doubleday, 2017).

11. خضع عدم التماثل بين الذكور والإناث في ما يخص استراتيجيات التكاثر إلى الدراسة والتوضيح على يد روبرت ترايفرز في «Parental Investment and Sexual Selection,» in *Sexual Selection and the Descent of Man: The Dar-winian Pivot,* ed. Bernard G. Campbell (Chicago: Aldine Publishing Company, 1972), 136-79.

12. انظر: Geoffrey Miller, *The Mating Mind: How Sexual Choice Shaped theEvolution*

of Human Nature (New York: Anchor, 2000); Denis Dutton, *The Art Instinct* (New York: Bloomsbury Press, 2010). يرتبط هذا المنظور ارتباطًا وثيقًا بمقترح سابق لأتموز زهافي، وهو مبدأ الإعاقة، الذي يتصور أن بعض الحيوانات تعلن عن صلاحيتها من خلال عروض استهلاكية واضحة يمكن أن تأخذ شكل أجزاء جسم أو سلوكيات مفرطة. إن الطاووس الذي يمكنه تحمل ذيل جميل ولكنْ ثقيل يؤكّد لشريكات التكاثر المحتملات قوته وصلاحيته، لأن أشقاءه الأضعف لن يكونوا قادرين على البقاء على قيد الحياة بهذه السمة المفرطة التي تعيق البقاء. الفكرة، إذًا، هي أن الفنانين البشريين الأوائل ربما حوّلوا عدم الأهمية التكيفية لفنهم إلى عرض عام مماثل للقوة والصلاحية، مما أدى إلى تعزيز فرص الإنجاب، وبالتالي نقل الميل إلى استخدام الفن كوسيلة لجذب الشركاء. انظر: Amotz Zahavi, «Mate selection—A selection for a handicap,» *Journal of Theoretical Biology* 53, no. 1 (1975): 20514.

13. انظر: Brian Boyd, «Evolutionary Theories of Art,» in *The Literary Animal:Evolution and the Nature of Narrative,* ed. Jonathan Gottschall and David Sloan Wilson (Evanston, IL: Northwestern University Press, 2005), 147.

تم توضيح الانتقادات الموجّهة إلى الانتخاب الجنسي باعتباره تفسيرًا للنشاط الفني البشري المذكور في هذه الفقرة في عدد من الأعمال. وها هي عينة منها: إذا كان الانتخاب الجنسي هو المفسّر للفنون، أليس لنا أن نتوقّع أن يكون الفن عملًا يحرّكه الذكور ومتفق جيدًا مع الوصول للجنس الآخر، بمعنى أنه نشاط يمارسه الذكور بقوة في أوج قوتهم الإنجابية ويتم توجيهه حصريًّا إلى الشريكات المحتملات؟ (Brian Boyd, *On the Origin of Stories* [Cambridge: Belknap Press, 2010], 76; Ellen Dissanayake, *Art and Intimacy* [Seattle: University of Washington Press, 2000], 136). ليس الذكاء والإبداع بالضرورة مؤشّرات جديرة بالثقة للصلاحية البدنية؛ فالجمع بين الضعف البدني والبراعة الإبداعية ليس نادرًا. (James R. Roney, «Likeable but Unlikely, a Review of the Mating Mind by Geoffrey Miller,» *Psycoloquy* 13, no. 10 (2002), article 5) هل هناك دليل على أن الغزوات الفنية للذكور توفر وسيلة أفضل للإعلان عن الصلاحية مقارنة بالأنشطة الأخرى مثل التباهي بالعلاقات الاجتماعية، وعروض الثروة، والفوز بالفعاليات الرياضية، وما إلى ذلك؟ (Stephen Davies, *The Artful Species: Aesthetics, Art, and Evolution* [Oxford: Oxford University Press, 2012], 125).

14. انظر: Steven Pinker, *How the Mind Works* (New York: W. W. Norton, 1997), 525.

15. انظر: Ellen Dissanayake, *Art and Intimacy: How the Arts Began* (Seattle:University of Washington Press, 2000), 94.

16. انظر: Noël Carroll, «The Arts, Emotion, and Evolution,» in *Aesthetics and the Sciences of Mind,* ed. Greg Currie, Matthew Kieran, Aaron Meskin, and Jon Robson (Oxford: Oxford University Press, 2014).

17. انظر: Glenn Gould in *The Glenn Gould Reader,* ed. Tim Page (New York: Vintage Books, 1984), 240.

18. انظر: Brian Boyd, *On the Origin of Stories* (Cambridge, MA: Belknap Press, 2010), 125.

19. انظر: Jane Hirshfield, *Nine Gates: Entering the Mind of Poetry* (New York: Harper Perennial, 1998), 18.

20. انظر: Saul Bellow, Nobel lecture, 12 December 1976, from *Nobel Lectures, Literature 1968-1980,* ed. Sture Allén (Singapore: World Scientific Publishing Co., 1993).

21. انظر: Joseph Conrad, *The Nigger of the «Narcissus»* (Mineola, NY: Dover Publications, Inc., 1999), VI.

22. Yip Harburg, «Yip at the 92nd Street YM-YWHA, December 13, 1970,» transcript 1103, p. 3, tapes 7210 and 7220.

23. انظر: Yip Harburg, «E. Y. Harburg, Lecture at UCLA on Lyric Writing, February 3, 1977,» transcript, pp. 57, tape 7310.

24. انظر: Marcel Proust, *Remembrance of Things Past,* vol. 3: *The Captive, The Fugitive, Time Regained* (New York: Vintage, 1982), 260, 931.

25. المرجع السابق: ص 260.

26. انظر: George Bernard Shaw, *Back to Methuselah* (Scotts Valley, CA: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2012), 278.

27. انظر: Ellen Greene, «Sappho 58: Philosophical Reflections on Death and Aging,» in: *The New Sappho on Old Age: Textual and Philosophical Issues,* ed. Ellen Greene and Marilyn B. Skinner, Hellenic Studies Series 38 (Washington, DC: Center for Hellenic Studies, 2009); Ellen Greene, ed., *Reading Sappho: Contemporary Approaches* (Berkeley: University of California Press, 1996).

28. انظر: Joseph Wood Krutch, «Art, Magic, and Eternity,» *Virginia Quarterly Review* 8, no. 4, (Autumn 1932); https://www.vqronline.org/essay/art -magic-and-eternity.

29. للحصول على منظور بديل (كما في الملاحظة رقم 5 في الفصل الأول) اقترح بعض المؤلفين أن القلق من الفناء والتأثير المصاحب له المتمثل في إنكار الموت، كما وصفه إرنست بيكر، هو تأثير حديث، مدفوع إلى حد كبير بزيادة معدلات الشيخوخة وتراجع الدين. انظر، على سبيل المثال: Philippe Ariès, *The Hour of Our Death,* trans. Helen Weaver (New York: Alfred A. Knopf, 1981).

30. انظر: W. B. Yeats, *Collected Poems* (New York: Macmillan Collector's Library Books, 2016), 267.

31. انظر: Herman Melville, *Moby-Dick* (Hertfordshire, UK: Wordsworth Classics, 1993): 235.

32. انظر: Edgar Allan Poe as quoted in J. Gerald Kennedy, *Poe, Death, and the Life of*

.*Writing* (New Haven: Yale University Press, 1987), 48

33. انظر: Tennessee Williams, *Cat on a Hot Tin Roof* (New York: New American Library, .1955), 67-68

34. انظر: Fyodor Dostoevsky, *Crime and Punishment*, trans. Michael R. Katz (New .York: Liveright, 2017), 318

35. انظر: Sylvia Plath, *The Collected Poems*, ed. Ted Hughes (New York: Harper .Perennial, 1992), 255

36. انظر: Douglas Adams, *Life, the Universe and Everything* (New York: Del Rey,2005), .4-5

37. انظر: Pablo Casals, from Bach Festival: Prades 1950, as quoted in Paul Elie, .*Reinventing Bach* (New York: Farrar, Straus and Giroux, 2012), 447

38. انظر: Joseph Conrad, *The Nigger of the «Narcissus»* (Mineola, NY: Dover .Publications, Inc., 1999), VI

39. انظر: Helen Keller, Letter to New York Symphony Orchestra, 2 February 1924, digital archives of American Foundation for the Blind, filename HK01-07_B114_ .F08_015_002.tif

الفصل التاسع: الديمومة والوقتية

1. اقترح بعض المفكرين البارزين أن التطور البشري قد شارف على نهايته. على سبيل المثال، ذكر ستيفن جاي غولد أنه من منظور البيولوجيا، لا يختلف البشر الحاليون عن أولئك الذين عاشوا منذ خمسين ألف عام ألّا اختلافًا يسيرًا(Stephen Jay Gould, «The spice of life,» *Leader to Leader* 15 [2000]: 14-19). وعلى العكس من ذلك، ذهب باحثون آخرون يدرسون الجينوم البشري إلى أن معدل التطور البشري يتسارع. (انظر، على سبيل المثال: John Hawks, Eric T. Wang, Gregory M. Cochran, et al., «Recent acceleration of human adaptive evolution,» *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, no. 52 [December 2007]: 20753-58; Wenqing Fu, Timo-thy D. O'Connor, Goo Jun, et al., «Analysis of 6,515 exomes reveals the recent origin of most human protein-coding variants,» *Nature* 493 [10 January 2013]: 216-20 قدّمت الدراسات التي أجريت على مجموعات سكانية مختلفة أدلة على وجود تطور جيني حديث نسبيًا. وتشمل الأمثلة طول قامة الرجال الهولنديين، الذين قد يعكس متوسط زيادتهم الاستثنائية في الطول آثار الانتخاب الجنسي والطبيعي (Gert Stulp, Louise Barrett, Felix C.Tropf, and Melinda Mill, «Does natural selection favour taller stature among the tallest people on earth?» *Proceedings of the Royal Society B* 282, no. 1806 [7 May 2015]: 20150211) والتكيف مع البيئات المرتفعة (Abigail Bigham et al., «Identifying signatures of natural selection in Tibetan and Andean populations using dense genome scan data,» *PLoS Genetics* 6, no. 9 [9

.(September 2010]: e1001116

2. انظر: Choongwon Jeong and Anna Di Rienzo, «Adaptations to local environ-ments in modern human populations,» *Current Opinion in Genetics & Development* 29 (2014), 1-8; Gert Stulp, Louise Barrett, Felix C. Tropf, and Melinda Mill, «Does natural selection favour taller stature among the tallest people on earth?» *Proceedings of the Royal Society B* 282, no. 1806 (7 May 2015): 20150211. راجع كذلك الملحوظة السابقة.

3. قُدِّمَت نظرة تحذيرية لهذا الافتراض من جانب Steven Carlip, «Transient Observers and Variable Constants, or Repelling the Invasion of the Boltzmann's Brains,» *Journal of Cosmology and Astropar-ticle Physics* 06 (2007): 001. لاحظ أن أحد الاختلافات المحتملة التي سنأخذها في الاعتبار هو أن قيمة الطاقة المظلمة قد تتغير. وكما نناقش في هذا الفصل، فقط في أواخر تسعينيات القرن الماضي أقنعت المشاهدات الفلكية مجتمع علماء الفيزياء بأن إزالة أينشتاين للثابت الكوني في العام 1931 («فلنحذف الحد الكوني!») كانت سابقة لأوانها. من السابق لأوانه أيضًا وصف الثابت الكوني بأنه «ثابت»؛ إذ من الممكن تمامًا أن تتغير قيمة حد أينشتاين الكوني بمرور الوقت وهو احتمال له تداعيات عميقة على المستقبل كما سنرى.

4. للاطلاع على منظور مختلف حول مستقبل الذكاء، انظر: David Deutsch, *The Beginning of Infinity* (New York: Viking, 2011).

5. حظيت فيزياء الأخرويات، أي فيزياء المستقبل البعيد، باهتمام أقل من فيزياء الماضي البعيد. ومع ذلك فهناك دراسات عديدة. وتوجد قائمة شاملة من المراجع المتخصّصة في Milan M. Ćirković, «Resource Letter: PEs-1, Physical Eschatology,» *American Journal of Physics* 71 (2003): 122. وفي المناقشة التالية، كان للورقة التأسيسية التي قدمها فريمان دايسون بعنوان «Time without end: Physics and biology in an open universe,» *Reviews of Modern Physics* 51 (1979): 447-60 تأثير خاص، وهو ما ينطبق كذلك على الورقة التي قدمها فريد سي آدامز وغريغوري لافلين بعنوان «A dying universe: The long- term fate and evolution of astrophysical objects,» *Reviews of Modern Physics* 69 (1997): 337-72، والتي تستفيض في الموضوع بدرجة أكبر، وتتضمن النتائج الجديدة عن الديناميات الكوكبية والنجمية والمجرية، التي جرت مناقشتها أيضًا في كتابهما العام الممتاز *The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity* (New York: Free Press, 1999). ويرجع الأصل الحديث للموضوع إلى الورقة التي قدمها م. ج. ريس بعنوان: «The collapse of the universe: An eschatological study,» *Observatory* 89 (1969): 193-98، علاوة على الورقة التي قدمها جمال ن. إسلام بعنوان «Possible Ultimate Fate of the Universe,» *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 18 (March 1977): 3-8.

6. انظر: I.J. Sackmann, A. I. Boothroyd, and K. E. Kraemer, «Our Sun. III. Present and Future,» *Astrophysical Journal* 418 (1993): 457; Klaus-Peter Schroder and Robert

C. Smith, «Distant future of the Sun and Earth revisited,» *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 386, no. 1 (2008): 155-63.

7. سيلاحظ القارئ الخبير أن مبدأ الاستبعاد لباولي قد لعب بالفعل دورًا في تطور الشمس. قبل بدء اندماج الهيليوم في قلب الشمس، كانت الكثافة عالية بما يكفي ليصبح ضغط تحلل الإلكترونات القائم على مبدأ الاستبعاد ذا صلة. وفي الواقع، فإن «الاندفاع المذهل واللحظي» الذي ذكرته باعتباره علامة على الانتقال إلى اندماج الهيليوم ينشأ بسبب السمات الخاصة لغاز الإلكترونات المتحللة الموجودة في القلب (لا يتمدّد الغاز أو يبرد استجابةً إلى الحرارة المتولّدة في بداية اندماج الهيليوم، مما يؤدي إلى تفاعل نووي هائل، لا يختلف كثيرًا عن قنبلة الهيليوم).

8. انظر: Alan Lindsay Mackay, *The Harvest of a Quiet Eye: A Selection of Scientific Quotations* (Bristol, UK: Institute of Physics, 1977): 117

9. قُدِّم الإدراك المبدئي للدور الأساسي الذي يقوم به مبدأ الاستبعاد لباولي في بنية الأقزام البيضاء في R. H. Fowler, «On Dense Matter,» *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 87, no. 2 (1926): 114-22. وجرى الإقرار بأهمية تضمين التأثيرات النسبوية في Subrahmanyan Chandrasekhar, «The Maximum Mass of Ideal White Dwarfs,» *Astrophysical Journal* 74 (1931): 81-82. وتُظهِر النتيجة، المعروفة باسم حد تشاندراسيخار، أن انكماش أي نجم كتلته أقل من 1,4 مرة قدر كتلة الشمس سوف تتوقف بالمثل بسبب المقاومة الناتجة عن مبدأ الاستبعاد لباولي. وكشف العمل اللاحق أنه في حالة النجوم الأضخم، يمكن لقوة الانكماش النجمي أن تدفع الإلكترونات إلى الاندماج مع البروتونات، بحيث تشكّل نيوترونات. وتسمح هذه العملية للنجوم بالانكماش أكثر، ولكن في مرحلة ما ستكون النيوترونات محتشدة في إحكام بحيث يصبح مبدأ الاستبعاد لباولي مناسبًا من جديد، مما يوقف المزيد من الانكماش مرة أخرى. والنتيجة هي نجم نيوتروني.

10. في حين يتزايد في المتوسط الانفصال بين المجرات، هناك مجرات قريبة بما يكفي لدرجة أن جاذبيتها المتبادلة تدفعها للاقتراب بعضها من بعض. وكما سنناقش فإن هذا هو الحال، مثلًا، مع مجرة درب التبانة ومجرة أندروميدا.

11. انظر: S. Perlmutter et al., «Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae,» *Astrophysical Journal* 517, no. 2 (1999): 565; B. P. Schmidt et al., «The High-Z Supernova Search: Measuring Cosmic Deceleration and Global Curvature of the Universe Using Type IA Supernovae,» *Astrophysical Journal* 507 (1998): 46

12. لإكمال هذه النقطة، لاحظ أن تفسيرات التمدد المكاني المتسارع التي تؤخذ على محمل الجد تشير جميعها إلى الجاذبية، لكنها تفعل ذلك بشكل عام بطريقتين مختلفتين. فإما أن سلوك قوة الجاذبية على المسافات الكونية يختلف عن توقعاتنا المبنية على أوصاف أينشتاين ونيوتن، أو أن المصادر التي تؤدي إلى ظهور الجاذبية تختلف عن توقعاتنا القائمة على الفهم التقليدي للمادة والطاقة. في حين أن كلا النهجين قابل للتطبيق، فقد تم تطوير النهج الثاني بشكل أوفى

وتطبيقه على نطاق واسع (ليس فقط لتفسير التمدد السريع للفضاء ولكن أيضًا لتفسير المشاهدات التفصيلية للإشعاع الخلفية الميكروني الكوني)، وبذا فهو النهج الذي نتبعه.

13. تبلغ كثافة الطاقة المظلمة نحو 5×10^{-10} جول لكل متر مكعب أو نحو 5×10^{-10} واط / ثانية لكل متر مكعب. ويتطلب تشغيل مصباح بقدرة 100 واط لثانية واحدة 2×10^{11} مرة قدر الطاقة المظلمة الموجودة في سنتيمتر مكعب واحد. وهكذا يمكن لهذه الطاقة تشغيل مصباح بقدرة 100 واط لنحو 5×10^{-12} ثانية، أو خمسة أجزاء من التريليون جزء من الثانية.

14. إذا لم تتغير قيمة الطاقة المظلمة بمرور الوقت، فإنها تكون مطابقة لثابت أينشتاين الكوني؛ وهو رقم اعتباطي أدخله أينشتاين في حساباته في العام 1917 عندما أدرك أن معادلات النسبية العامة لم تكن قادرة على تفسير وجهة النظر المتفق عليها والتي تقضي بأن الكون ثابت على النطاقات الكبيرة. التحدي الذي واجهه أينشتاين هو أن الثبات يتطلّب التوازن، ولكن يبدو أن الجاذبية تسحب في اتجاه واحد فقط. وفي غياب أي قوة موازنة، بدا الكون الثابت مستحيلًا. وبمحض الصدفة السعيدة، أدرك أينشتاين بعد ذلك أنه من خلال إدخال حد جديد في معادلاته -الثابت الكوني- تسمح النسبية العامة أيضًا بالجاذبية الطاردة التي يمكن أن تعارض تأثير الجاذبية العادية وتجعل الكون الثابت ممكنًا. (لم يدرك أينشتاين أن عملية التوازن كانت غير مستقرة؛ إذ إن التغيير البسيط في حجم الكون الساكن، إلى الأكبر أو الأصغر، من شأنه أن يخل بالتوازن، مما يؤدي إلى التمدد أو الانكماش.) في غضون ما يزيد قليلًا عن عقد من الزمان، علم أينشتاين أن الكون يتمدّد. وفي ضوء هذا الإدراك، أزال أينشتاين الثابت الكوني من معادلاته. لكن أينشتاين كان قد أخرج جِنّي الجاذبية الطاردة من مصباح النسبية العامة بالفعل. وبمرور الوقت، أفادت الجاذبية الطاردة علم الكونيات بشكل كبير، إذ أمدّته بالدفع الخارجي الخاص بالانفجار العظيم، وبعد ذلك، قدّمت تفسيرًا للتمدّد المتسارع للفضاء. وهذا دفع الكثيرين إلى قول إن هذا كله يظهر أن حتى أفكار أينشتاين السيئة جيدة.

15. انظر: Robert R. Caldwell, Marc Kamionkowski, and Nevin N. Weinberg, «Phantom Energy and Cosmic Doomsday,» *Physical Review Letters* 91 (2003): 071301

16. انظر: Abraham Loeb, «Cosmology with hypervelocity stars,» *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 04 (2011): 023

17. الطاقة الموجودة داخل الأرض هي أيضًا من بقايا الحرارة الناتجة عن سحق الجاذبية سحابة من الغبار والغاز كي تشكل الكوكب الوليد. علاوة على ذلك، تتولد الحرارة أيضًا خلال دوران الأرض، لأن الحركة تضغط على طبقات الصخور العميقة التي تحتاج إلى قوة ثابتة لمواكبة سرعة الدوران.

18. انظر: Fred C. Adams and Gregory Laughlin, «A dying universe: The long term fate and evolution of astrophysical objects,» *Reviews of Modern Physics* 69 (1997): 337-72; Fred C. Adams and Greg Laughlin, *The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity* (New York: Free Press, 1999), 50-52. تنطبق اعتبارات مماثلة على الكواكب أو الأقمار التي كانت دائمًا بعيدة جدًا عن نجمها المضيف بحيث يتعذّر وجود

الظروف المناسبة لظهور الحياة على أسطحها. ومن الممكن أن تنتج العمليات الداخلية في هذه الأجرام -أي الجيولوجيا الفلكية الخاصة بها- طاقة قادرة على الحفاظ على الحياة تحت أسطحها. قمر كوكب زحل إنسيلادوس مرشّح رئيسي. على هذه المسافة الكبيرة من الشمس، يكون سطحه الجليدي موطنًا غير ملائم للحياة. لكن قوى الجذب المختلفة التي يمارسها زحل وأقماره الأخرى، والتي تؤدي إلى استطالة القمر إنسيلادوس قليلًا في هذا الاتجاه وانضغاطه في ذاك، تخلق ضغوطًا وإجهادات تسخن باطنه، وتذيب الجليد وربما تحافظ على خزانات مياه سائلة. وليس من المستبعد تمامًا أن نتخيل أننا قد نحفر يومًا ما حفرة صغيرة في قشرة إنسيلادوس المتجمدة، وننزل مسبارًا، لنجد أحد السكان الأصليين للقمر يعيش تحت سطح المحيط.

19. لتوضيح هذه النقطة، انظر الفقرة الخاصة بي من برنامج *The Late Show with Stephen Colbert* الذي أُلقيت فيه خمس كرات موضوعة بعضها فوق بعض على الأرض، بحيث تسببت في دفع الكرة الأخف في الهواء إلى ارتفاع ثلاثين قدمًا (وهذا بالتأكيد الرقم القياسي الوحيد الذي سأحمله على الإطلاق) https://www.youtube.com/watch?v= 75szwX09pg8.

20. يعطينا دايسون تقديرًا تقريبيًا للمعدل الذي تُقذَف به الكواكب من المجموعة الشمسية علاوة على المعدل الذي تُقذَف به النجوم من المجرات: Freeman Dyson, «Time without end: Physics and biology in an open universe,» *Reviews of Modern Physics* 51 (1979): 450. يقدم آدمز ولافلين تفسيرات وحسابات أوفى، علاوة على إسهامات بحثية أصلية في بعض من هذه العمليات (على سبيل المثال، تداعيات تجوال النجوم الصغيرة عبر مجموعتنا الشمسية)..F. C. Adams and G. Laughlin, «A dying universe: The long- term fate and evolution of astrophysical objects,» *Reviews of Modern Physics* 69 (1997): 343-47; Fred C. Adams and Greg Laughlin, *The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity* (New York: Free Press, 1999), 50-51.

21. لمشاهدة بيان مصور لاستعارة الغشاء المطاطي، باستخدام قماش سباندكس، ومناقشة سريعة للنقطة المقدّمة في الفقرة التالية بشأن موجات الجاذبية وتداعي مدارات الكواكب، انظر: https://www.youtube.com/watch?v=uRijc-AN-F0.

22. انظر: R. A. Hulse and J. H. Taylor, «Discovery of a pulsar in a binary system,» *Astrophysical Journal* 195 (1975): L51

23. أُثيرت إمكانية أن المدار المتحلّل ببطء ربما يشير إلى فقدان الطاقة عن طريق إشعاع الجاذبية من جانب ر. ف. واجونر في «Test for the existence of gravitational radiation,» *Astrophysical Journal* 196 (1975): L63.

24. انظر: J. H. Taylor, L. A. Fowler, and P. M. McCulloch, «Measurements of general relativistic effects in the binary pulsar PSR 1913+16,» *Nature* 277 (1979): 437

25. انظر: Freeman Dyson, «Time without end: Physics and biology in an open universe,» *Reviews of Modern Physics* 51 (1979): 451; Fred C. Adams and Gregory Laughlin, «A dying universe: The long-term fate and evolution of astrophysical objects,»

Reviews of Modern Physics 69 (1997): 34447

26. انظر: Fred C. Adams and Gregory Laughlin, «A dying universe: The long term fate and evolution of astrophysical objects,» *Reviews of Modern Physics* 69 (1997): 34749

27. عند عزل النيوترونات يكون لها عمر قصير يبلغ نحو خمس عشرة دقيقة. ومع ذلك، نظرًا إلى أن النيوترونات أثقل من البروتونات، فإن عملية تحلّلها تنطوي على إنتاج بروتون (وإلكترون ونيوترينو مضاد). ولكي يتحلّل النيوترون داخل الذرة، ستحتاج النواة إلى استيعاب البروتون المنتج، ولكن غالبًا لا يمكن تلبية هذا المطلب. تملأ البروتونات الموجودة بالفعل في النواة الفتحات الكمية المتاحة، والتي لا يمكن مشاركتها وفقًا لباولي ومبدأ الاستبعاد الخاص به، مما يعزز استقرار النيوترون في هذا السياق. ونظرًا إلى أن البروتونات أخف من النيوترونات، فعند اضمحلالها لن تنتج نيوترونات، ولن تلعب عملية استقرار مماثلة دورها.

28. انظر: Howard Georgi and Sheldon Glashow, «Unity of All Elementary Particle Forces,» *Physical Review Letters* 32, no. 8 (1974): 438

29. نسبة التحلل البالغة 50 بالمائة على مدار 10^{30} عام تعني أنه في عينة من 10^{30} بروتون توجد احتمالية مقدارها 50 بالمائة لتحلل أحد البروتونات خلال عام واحد.

30. انظر: Howard Georgi, *Personal communication*, Harvard University, 28December 1997

31. إذا لم تتفكّك البروتونات بالطريقة التي تصورتها نظريات مثل التوحيد الكبير أو نظرية الأوتار، والتي تتجاوز القوانين المُثبتة لفيزياء الجُسَيْمات –النموذج القياسي لفيزياء الجُسَيْمات– فسيتطلب التطور نحو المستقبل الذي وصفته تعديلات مختلفة. على سبيل المثال، عادة ما نفكر في المواد الصلبة، كالحديد، باعتبارها أشياء تحتفظ بشكلها، على عكس السوائل، التي يتغيّر شكلها. ولكن على مدى فترات زمنية طويلة بما يكفي، حتى الحديد سوف يتصرف مثل السائل، وستنتقل الذرات المكونة له عبر جميع الحواجز التي تقيمها عادة العمليات الفيزيائية والكيميائية. على مدار نحو 10^{65} عام، من الممكن لكتلة حديد هائمة في الفضاء أن تعيد ترتيب ذراتها، بحيث «تذوب» لتصبح فقاعةً كروية، كما ستفعل كل المواد الأخرى التي لا تزال موجودة. وبخلاف عمليات إعادة تغيير الشكل، ستتغير هوية المادة على مدى الفترات الزمنية الأطول: فالذرات الأخف من الحديد ستندمج معًا تدريجيًا، في حين أن الذرات الأثقل من الحديد ستنشطر. الحديد هو الأكثر استقرارًا بين جميع التكوينات الذرية، ومن ثم سيكون الناتج النهائي لجميع هذه العمليات النووية. يبلغ الإطار الزمني لمثل هذه العمليات نحو 10^{1500} عام. وعلى مدى فترات زمنية أطول، ستنتقل المادة كميًا إلى الثقوب السوداء، والتي في هذا النطاق الزمني ستتبخّر فورًا بواسطة إشعاع هوكينغ. لاحظ، مع ذلك، أنه حتى في النموذج القياسي لفيزياء الجُسَيْمات –حيث لا توجد امتدادات غريبة أو افتراضية– من المعتقد أن البروتونات سوف تتحلل، فقط على نطاق زمني أطول بكثير من الـ10^{38} عام التي افترضناها في الفصل. على سبيل المثال، هناك عملية كمية غريبة بالكامل ضمن النموذج القياسي درسها الفيزيائيون نظريًا (تُعرف باسم «إنستانتون»، Instanton، تعتمد على ما يسمى بحل الأسفالرون لمعادلات المجال الكهروضعيف) والتي من شأنها أن

تؤدي إلى تفكك البروتونات. تعتمد العملية على حدث انتقال كمي، وبالتالي فإن النطاق الزمني لحدوثها طويل للغاية، إذ يبلغ وفق بعض التقديرات نحو 10^{150} عام في المستقبل، ولكن أقل بكثير الـ10^{1500} عام المذكورة أعلاه. درس الفيزيائيون عمليات غريبة أخرى من شأنها أيضًا أن تسبّب تحلل البروتونات بمقاييس زمنية مختلفة تكون في الغالب في حدود 10^{200} عام تقريبًا. لذلك بحلول تلك الحقبة المستقبلية، من المحتمل أن تكون أي مادة معقدة متبقية قد انهارت. انظر «Freeman Dyson, «Time without end: Physics and biology in an open universe, *Reviews of Modern Physics* 51 (1979): 45152، للحصول على تقديرات حول سيولة المادة الصلبة وتحول المادة إلى حديد. للحصول على مراجع فنية حول حدث انتقال النفق الكمي الذي يؤدّي إلى تحلل البروتون، انظر: G. 't Hooft, «Computation of the quantum effects due to a four-dimensional pseudoparticle,» *Physical Review D* 14 (1976): 3432, and F. R. Klinkhamer and N. S. Manton. «A saddle-point solution in the Weinberg-Salam theory,» *Physical Review D* 30 (1984): 2212.

32. انظر: Freeman Dyson. «Time without end: Physics and biology in an open universe,» *Reviews of Modern Physics* 51 (1979): 447-60

33. بحسب دايسون المعدل الضروري لتبديد الطاقة D للكائن المفكر الذي تبلغ درجة تعقيده Q (وهو معدل إنتاج الإنتروبيا لكل وحدة من الزمن الذاتي للكائن المفكر، ويعادل تقريبًا إنتاج الإنتروبيا بحسب فكر الكائن المفكر)، ويعمل عند درجة حرارةT، ووجد أن $D \propto QT^2$.

34. بتعبير أدق، في اللغة التي أستخدمها، يفترض دايسون أنه إذا كان لدينا مجموعة من الكائنات المفكرة، تم ضبطهم جميعًا للعمل في درجات حرارة مختلفة، فسيتدرج معدل عمليات التمثيل الغذائي لكل كائن مفكر، بصرف النظر عن ماهيتها، بشكل خطي بالتوافق مع درجة الحرارة. بالمصطلحات الفنية، يطرح دايسون ما يسميه فرضية *التدريج البيولوجي*، والتي تقول ما يلي: إذا كان لديك نسخة طبق الأصل من بيئة معينة، مطابقة من منظور ميكانيكا الكم مع الأصل باستثناء أن درجة حرارة البيئة الجديدة هي T_{new} ودرجة حرارة البيئة الأصلية هي $T_{original}$، وإذا قمت بعمل نسخة طبق الأصل من نظام حي بحيث يُعطى الهاملتوني الميكانيكي الكمي الخاص به، وصولًا إلى تحول وحدوي، بواسطة المعادلة $H_{new} = (T_{new} / T_{original}) H_{original}$، عندئذٍ فإن النسخة تكون في الواقع حية ولديه خبرات ذاتية مماثلة للأصل، باستثناء أن جميع وظائفه الداخلية يتم اختزالها بواسطة عامل $T_{new} / T_{original}$.

35. بالنسبة للقارئ ذي الميول الرياضية، لاحظ أنه إذا كانت درجة الحرارة،T، دالة للزمن،t، فوفقًا للمعادلة $T(t) \sim t^{-p}$، فإن تكامل التعبير المذكور في الملاحظة رقم 33، QT^2، سوف يقترب من $p > ½$، في حين أن العدد الإجمالي للأفكار (تكامل (T(t)) سيتباعد عن $p<1$. لذلك، مع $½ < p < 1$، يمكن للكائن المفكر تنفيذ عدد لا حصر له من الأفكار بينما يتطلب إمدادات محدودة من الطاقة.

36. بالنسبة للقارئ ذي الميول الرياضية، فإن القضية الأساسية هنا هي أن الحد الأقصى لمعدل التخلص من الهدر (بافتراض أن المفكر يتخلّص من الهدر عن طريق الإشعاع ثنائي القطب القائم على الإلكترون) يتناسب مع T^3، في حين أن الطاقة المشتتة تتناسب مع T^2. هذا يعني أن هناك حدًا

أدنى على T لتجنب تراكم الحرارة المهدرة بشكل أسرع مما يمكن طرده.

37. علماء الحاسوب المسؤولون عن هذه النتائج المؤثرة هم تشارلز بينيت، وإدوارد فريدكين، ورولف لانداور، وتوماسو توف فولي، وكثيرون غيرهم. للحصول على عرض كاشف ويسير الاستيعاب، انظر: Charles H. Bennett and Rolf Landauer, «The Fundamental Physical Limits of Computation,» *Scientific American*253, no. 1 (July 1985): 48-56.

38. بتعبير أدق، يكاد يكون من المستحيل عكس العملية الحسابية. فنظرًا إلى أن عملية المحو هي في حد ذاتها عملية فيزيائية، فمن حيث المبدأ يمكننا عكسها بنفس العملية التي نستخدمها لعكس تحطّم الزجاج: أي عكس حركة كل جُسَيْم في كل مكان. لكن مجدّدًا، هذا مستحيل تمامًا من الناحية العملية.

39. تدبر عدد من المؤلفين تأثير الثابت الكوني على مستقبل الحياة والعقل. قبل وقت طويل من اكتشاف الطاقة المظلمة عن طريق المشاهدات، قام جون بارو وفرانك تيبلر بتحليل فيزياء الحوسبة في كون ذي ثابت كوني، وذهبوا إلى أن معالجة المعلومات تقترب بالضرورة من نهايتها، مما يضع نهاية للحياة والعقل (John D. Barrow and Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* [Oxford: Oxford University Press, 1988], 668-69). وأعاد لورانس كراوس وجلين ستاركمان النظر في تحليل دايسون في كون ذي ثابت كوني وتوصلا إلى نتيجة مماثلة (Lawrence M. Krauss and Glenn D. Starkman, «Life, the Universe, and Nothing: Life and Death in an Ever-Expanding Universe,» *Astrophysical Journal* 531 [2000]: 22-30). وذهب كراوس وستاركمان أيضًا، بناءً على أسس عامة، إلى أن الطبيعة المنفصلة لحالات نظام كمّي محدود الحجم ستعرض بالمثل للخطر الفكر اللامتناهي في أي زمكان متمدّد، حتى في حالة عدم وجود ثبات كوني. ومع ذلك، فقد رأى بارو وهيرفيك أنه باستخدام التدرجات الحرارية المتولدة عن موجات الجاذبية، يمكن في الواقع أن تستمر معالجة المعلومات إلى أجل غير مسمى في كون ليس له ثابت كوني (John D. Barrow and Sigbjørn Hervik, «Indefinite information processing in ever-expanding universes,» *Physics Letters B* 566, nos. 1-2 [24 July 2003]: 1-7). وتوصل فريز وكيني إلى استنتاج مشابه، قائلَين إنه في زمكان يزداد حجم أفقه بمرور الوقت (خلافًا لذلك الخاص بكونٍ ذي ثابت كوني يكون حجم الأفق فيه ثابتًا)، فإن فضاء الطور يكتسب باستمرار أنماطًا جديدة (أطوالها الموجية أقل من حجم الأفق المتزايد)، مما يمنح النظام إمدادًا مستمرًا بدرجات جديدة من الحرية التي يمكنها نقل الهدر إلى البيئة، وبذا يسمح للحوسبة بالمضي قدمًا إلى أجل غير مسمى في المستقبل (K. Freese and W. Kinney, «The ultimate fate of life in an accelerating universe,» *Physics Letters B* 558, nos. 1-2 [10 April 2003]: 1-8).

40. انظر: K. Freese and W. Kinney, «The ultimate fate of life in an accelerating universe,» *Physics Letters B* 558, nos. 1-2 [10 April 2003]: 18

الفصل العاشر: أفول الزمن

1. واجهنا في الفصول السابقة حقيقة أن العمليات ذات الاحتمالات الضئيلة يمكن أن تستفيد من

الفترات الزمنية الطويلة كي تشق طريقها إلى الواقع. في أحد التفسيرات التي تتناول ما أشعل شرارة الانفجار العظيم، ذكرتُ أن التطوّر الكوني ربما انتظر طويلًا التكوين بعيد الاحتمال للغاية لملء مجال تضخم موحد منطقة صغيرة، بحيث يكون مصدر الجاذبية الطاردة ويدشن تمدّد الفضاء. وفي مثال آخر مهم وعام، أكدت أيضًا أن القانون الثاني للديناميكا الحرارية ليس قانونًا بالمعنى التقليدي، ولكنه بدلًا من ذلك اتجاه إحصائي. إن انخفاضات الإنتروبيا نادرة بشكل استثنائي، ولكن إذا انتظرت طويلًا بما يكفي، فإن أبعد الأشياء عن الاحتمال ستقع.

2. انظر: Freeman Dyson in Jon Else, dir., *The Day After Trinity* (Houston: KETH,1981)

3. مراسلات خاصة مع جون ويلر، جامعة برينستون، 27 يناير 1998.

4. انظر: W. Israel, «Event Horizons in Static Vacuum Space-Times,» *Physical Review* 164 (1967): 1776; W. Israel, «Event Horizons in Static Electro-vac Space-Times,» *Communications in Mathematical Physics* 8 (1968): 245; B. Carter, «Axisymmetric Black Hole Has Only Two Degrees of Freedom,» *Physical Review Letters* 26 (1971): 331

5. انظر: Jacob D. Bekenstein, «Black Holes and Entropy,» *Physical Review D* 7 (15 April 1973): 2333. For a beautiful and accessible mathematical summary of Bekenstein's calculation, see Leonard Susskind, *The Black Hole War: My Battle with Stephen Hawking to Make the World Safe for Quantum Mechanics* (New York: Little, Brown and Co., 2008), 151-54.

6. بتعبير أدق، تزداد المساحة بمقدار وحدة مربعة واحدة إذا تم اختيار الوحدة لتكون ربع مربع طول بلانك.

7. توفر الخصائص المغناطيسية للإلكترون، الحساسة للغاية للتقلبات الكمية في الفضاء الخاوي، الاتفاق الأوضح بين المشاهدات والتنبوءات الرياضية. لا تقل الحسابات الرياضية عن كونها بطولية. وفي أواخر أربعينيات القرن الماضي، قدم ريتشارد فاينمان تمثيلًا بيانيًا لتنظيم هذه الحسابات الكمية، باستخدام ما يعرف الآن باسم *مخططات فاينمان*. يمثل كل مخطط مساهمة رياضية تتطلب تقييمًا دقيقًا، وفي ختام الحساب، يجب تلخيص كل هذه الحدود. وعند تحديد المساهمات الكمية في الخصائص المغناطيسية للإلكترونات (عزم الإلكترون الثنائي القطب)، احتاج الباحثون إلى تقييم أكثر من اثني عشر ألف مخطط من مخططات فاينمان. ويعد الاتفاق المذهل بين هذه الحسابات والقياسات التجريبية أحد أعظم الانتصارات الناشئة عن فهمنا لفيزياء الكم (see Tatsumi Aoyama, Masashi Hayakawa, Toichiro Kinoshita, and Makiko Nio, «Tenth-order electron anomalous magnetic moment: Contribution of diagrams without closed lepton loops,» *Physical Review D* 91 [2015]: 033006).

8. على الرغم من أنني أستخدم الفحم كتشبيه، تجدر الإشارة إلى اختلاف أساسي واحد بين الإشعاع المنبعث من الاحتراق المألوف والإشعاع المنبعث من الثقب الأسود. عندما يتوهج الفحم، ينبعث الإشعاع مباشرة من احتراق المواد المكونة للفحم؛ ولذلك، يحمل الإشعاع بصمة تركيبية مادة الفحم المحددة. على النقيض من ذلك فإن كل المادة المكونة للثقب الأسود تم سحقها في

نقطة التفرد الخاصة بالثقب -وكلما كان حجم الثقب الأسود أكبر، زاد الفاصل بين نقطة تفرد الثقب الأسود وأفق الحدث- وبالتالي فإن الإشعاع المنبعث من أفق الحدث لن يحمل بصمة التركيب المادي للثقب الأسود. وهذا الاختلاف هو إحدى طرق فهم أصل ما يُعرف بـ *مفارقة معلومات الثقب الأسود*، ومفادها أنه إذا كان الإشعاع المنبعث من الثقب الأسود غير حساس للمكونات المحددة التي تشكل منها الثقب الأسود، فعندئذٍ بحلول الوقت الذي يتحول فيه الثقب الأسود بالكامل إلى إشعاع، ستُفقَد المعلومات الواردة في هذه المكونات. قد يؤدي فقدان المعلومات هذا إلى إخلال التقدم الميكانيكي الكمي للكون، ولذلك أمضى الفيزيائيون عقودًا في محاولة إثبات أن المعلومات لا تضيع. ويتفق معظم الفيزيائيين الآن على أن لدينا حججًا قوية تدعم الزعم القائل بأن المعلومات محفوظة بالفعل، ولكن هناك العديد من التفاصيل المهمة التي لا تزال محل دراسة.

9. تُظهِر صيغة هوكينج أن إشعاع الجسم الأسود المنبعث من ثقب أسود شفارتسشيلد (ثقب أسود غير مشحون وغير دوار) ذي الكتلة M يُعطى بواسطة المعادلة $T_{Hawking} = hc^{[3]}/16\pi^{[2]}GMk_b$ (حيث *h* ثابت بلانك، وc سرعة الضوء، وG ثابت نيوتن، وk_b ثابت بولتزمان). S. W. Hawking, «Particle Creation by Black Holes,» *Com-munications in Mathematical Physics* 43 (1975): 199-220.

10. انظر: Don N. Page, «Particle emission rates from a black hole: Massless par-ticles from an uncharged, nonrotating hole,» *Physical Review D* 13 no. 2 (1976), 198-206. تُحدِّث الأرقام المقتبسة حسابات بيدج استنادًا إلى تقييمات أحدث لخصائص الجُسَيْمات، وخاصة الكتل غير الصفرية للنيوترينوات.

11. بتعبير أدق، الكرة التي لا يزيد نصف قطرها عن نصف القطر المسمى نصف قطر شفارتسشيلد، والتي يكون تعبيرها الرياضي من حيث الكتلة، M، هو: $R_{Schwarzschild} = 2GM/c^2$.

12. لاحظ أنني أشير إلى ما يمكن تسميته متوسط *الكثافة الفعالة* للثقب الأسود: أي كتلته الإجمالية مقسومة على الحجم الكلّي الموجود داخل كرة يساوي نصف قطرها نصف قطر أفق الحدث. الفكرة مفيدة بشكل بديهي ولكنها، كما يدرك القارئ الخبير، إرشادية في أفضل الأحوال. عندما يتشكل الثقب الأسود، يصبح الاتجاه الشعاعي داخل أفق الحدث الخاص به مماثلًا للزمن، وبذا تصبح فكرة الحجم المكاني الداخلي للثقب الأسود أكثر دقة (وفي الواقع، تصبح متباعدة). علاوة على ذلك، فإن كتلة الثقب الأسود لا تملأ بشكل متجانس أي حجم كهذا، لذا فإن متوسط الكثافة التي حسبناها لا يتحقّق فعليًا بواسطة الثقب الأسود نفسه. ومع ذلك، فإن متوسط كثافة الثقب الأسود، كما حدّدناه، يعطي إحساسًا بديهيًا بالسبب الذي يجعل الثقوب السوداء الأكبر حجمًا تنتج بيئات خارجية أقل تطرفًا وتؤدّي إلى إشعاع هوكينج ذي درجات حرارة منخفضة.

13. ذكرنا في الفصل السابق أن التمدّد المتسارع للفضاء يؤدي إلى درجة حرارة خلفية صغيرة وثابتة تبلغ نحو 10^{-30} درجة كلفينية، وستكون درجة حرارة الثقب الأسود الذي تزيد كتلته على 10^{23} مرة قدر كتلة الشمس أصغر من درجة الحرارة المحيطة للفضاء في المستقبل البعيد. ومع ذلك، فإن مثل هذا الثقب الأسود سيكون أكبر من الأفق الكوني نفسه.

14. وفقًا للحسابات الرياضية، عندما تمر الفوتونات عبر مجال هيجز، فإنها لا تواجه مقاومة على الإطلاق، مما يجعلها عديمة الكتلة ويجعل مجال هيجز غير مرئي.

15. بيتر هيجز في حلقة بعنوان «ما الفضاء؟»، وهي الحلقة الأولى من مسلسل وثائقي من أربعة أجزاء على قناة نوفا بعنوان «نسيج الكون»، والمبني على كتاب يحمل الاسم نفسه. الفيزيائيون الآخرون الذين طوروا أفكارًا مشابهة لهيجز في نفس الوقت تقريبًا هم روبرت بروت، وفرانسوا إنجليرت، وجيرالد جورالنيك، وس. ريتشارد هاجن، وتوم كيبل. تقاسم هيجز وإنجليرت جائزة نوبل عن عملهما.

16. أهمية هذا الرقم المحدّد أقل مما تبدو. تعتمد القيمة 246 (أو بشكل أكثر دقة 246,22 جيجا إلكترون فولت) على الاتفاقات الرياضية التي يعتمد عليها الفيزيائيون عمومًا. لكن الاتفاقات الأقل شيوعًا ستنتج خصائص فيزيائية مكافئة ذات قيم عددية مختلفة.

17. انظر:: Sidney Coleman, «Fate of the False Vacuum,» *Physical Review D* 15 (1977): 2929; Erratum, *Physical Review D* 16 (1977): 1248.

18. بتعبير أدق، ستنتشر الكرة ببطء في البداية ثم تتزايد سرعتها لتصل إلى سرعة الضوء.

19. انظر: A. Andreassen, W. Frost, and M. D. Schwartz, «Scale Invariant Instan-tons and the Complete Lifetime of the Standard Model,» *Physical Review D* 97 (2018): 056006

20. إن احتمالية أن يكون كوننا قد نشأ من تيار متجانس عالي الإنتروبيا من الجُسَيْمات التي تصطدم وتتلاطم في الفراغ، حيث أدى انخفاض عفوي نادر في الإنتروبيا إلى ظهور البنى المنظمة التي نشهدها، أثارها لودفيغ بولتزمان في ورقتين بحثيتين (Ludwig Boltzmann, «On Certain Questions of the Theory of Gases,» *Nature* 51 [1895]: 1322, 413-15; Ludwig Boltzmann, *«Entgegnung auf die wärmetheoretischen Betrachtungen des Hrn. E. Zermelo,» Annalen der Physik* 57 [1896]: 773-84). ولاحقًا، أشار آرثر إدينجتون إلى أنه نظرًا إلى أن الانخفاضات الأقل أهمية في الإنتروبيا من المرجح أن تحدث بمعدل أكبر، فمن المحتمل جدًا ألّا يؤدي مثل هذا التقلب إلى كون كامل مليء بالنجوم والكواكب والبشر –وهو انخفاض كبير في الإنتروبيا– وإنما سيسفر بدلًا من ذلك عن «فيزيائيين رياضيين» (راصدون منخرطون في التجارب الفكرية ذاتها التي كان يستكشفها) في بيئة غير منظمة بخلاف ذلك (A. Eddington, «The End of the World: From the Standpoint of Mathematical Phys-ics,» *Nature* 127, no. 1931 [3203]: 447-53). وبعد ذلك بوقت طويل، جرى اختزال فكرة «الفيزيائيين الرياضيين» بدرجة أكبر إلى انخفاض أكثر تواضعًا، يؤدّي فقط إلى ظهور مكونات التفكير لدى الراصدين، والتي يشار إليها باسم «أدمغة بولتزمان» (على حد علمي، ورد أول استخدام صريح للمصطلح في A. Albrecht and L. Sorbo, «Can the Universe Afford Inflation?» *Physical Review D* 70 [2004]: 063528).

21. لأسباب تم التشديد عليها في الفصل، سيكون تركيزي على الخلق التلقائي للبنى القادرة على التفكير –أدمغة بولتزمان– غير أن الخلق التلقائي لأكوان جديدة كاملة أو إعادة الخلق التلقائي

للظروف التي أطلقت التمدد الكوني التضخمي تستحق الاهتمام أيضًا. لتجنب إثقال الفصل، أتدبر هذين الاحتمالين في الملاحظتين رقم 22 و34.

22. سيدرك القارئ الخبير أنني أتجاوز هنا كلًّا من مواضع التعقيد والجدل. لا يوجد إجماع عام حول كيفية حساب احتمالات التقلبات الكونية العفوية المختلفة التي أشير إليها. نادى ليونارد سَسكيند ومساعدوه باتباع نهج واحد في L. Dyson, M. Kleban, and L. Susskind, «Disturbing Implications of a Cosmological Constant,» *Journal of High Energy Physics* 0210 (2002): 011، وذلك بناءً على فكرة سابقة لـ سسكيند تُعرَف باسم «تكامل الأفق». تذكر أنه نظرًا إلى أن تمدد الفضاء يتسارع، فإننا محاطون بأفق كوني بعيد. المواقع الأبعد من الأفق الكوني تنحسر عنا بسرعة تزيد على سرعة الضوء، لذلك لا يمكن لنا التأثر بأي شيء يقع على تلك المسافة أو بعدها. وينادي سَسكيند، بدافع من هذه العزلة (ومدفوعًا بعمله السابق على الثقوب السوداء، التي لها أفقها الخاص بها)، بالنظر في العمليات الفيزيائية التي تحدث داخل «رقعتنا السببية» فقط -يمكنك التفكير في هذا على أنه منطقة الفضاء التي تقع داخل أفقنا الكوني- ونبذ فعليًّا كل صور الفيزياء في الامتداد اللامتناهي المحتمل للفضاء الذي يقع وراءها. بتعبير أدق، يرى سَسكيند أن الفيزياء خارج رقعتنا السببية مكافئ زائد على الحاجة للفيزياء الموجودة داخل رقعتنا السببية (مثلما تعد الأوصاف الموجية والجُسَيْمية في ميكانيكا الكم طريقتين متكاملتين لمناقشة الفيزياء نفسها، فإن فيزياء الرقعة الداخلية والفيزياء الخارجية هما أيضًا طريقتان متكاملتان لمناقشة الفيزياء نفسها). مع هذا الافتراض، يُنظَر إلى الواقع باعتباره رقعة محدودة من الفضاء، ذات ثابت كوني ثابت، Λ، ينتج عنه درجة حرارة $T ▯ \sqrt{\Lambda}$، أشبه بصورة ما بالحالة المتعارف عليها للغاز الساخن داخل صندوق والتي تجري دراستها في الميكانيكا الإحصائية الأولية. وبهذا فإن حساب الاحتمالات النسبية لحالتين عيانيتين مختلفتين يعني أخذ نسب عدد الحالات المتناهية الصغر المرتبطة بكل منهما. ويعني هذا أن احتمالية أي ترتيب معين تتناسب طرديًّا مع (القيمة الأسيَّة لـ) الإنتروبيا الخاصة به. وفي ضوء هذا النهج، يرى سَسكيند ومعاونوه أن تلاقي الجُسَيْمات داخل الرقعة الخاصة بنا لتوفير الظروف اللازمة للانفجار العظيم التضخمي هو أقل ترجيحًا بشكل استثنائي (لأنه يتسم بدرجة منخفضة للغاية من الإنتروبيا) من تجمُّع الجُسَيْمات معًا لتنتج العالم بشكل مباشر كما نعرفه، من النجوم إلى البشر (لأن هذا الترتيب يتسم بدرجة أعلى من الإنتروبيا). اقتُرِح نهج بديل لحساب الاحتمالات في A. Albrecht and L. Sorbo, «Can the Universe Afford Inflation?» *Physical Review D* 70 (2004): 063528، وهو مبني على التضخم الناتج عن حدث انتقال كمي محلي. ينتج هذا النهج احتمالات مختلفة اختلافًا جذريًّا. تدبر ألبريشت وسوربو التقلبات في الإنتروبيا المنخفضة -وهي منطقة سوف تتضخم لاحقًا- داخل بيئة خلفية تتسم هي نفسها بإنتروبيا مرتفعة؛ ويضمن هذا أن الترتيب الكامل لا يزال يتسم بإنتروبيا مرتفعة، وهو ما يعزز الاحتمالات. يدرس سَسكيند ومعاونوه الإنتروبيا فقط ضمن التقلبات نفسها، مبررين ذلك بأنه نظرًا إلى أن المنطقة ستتضخم لاحقًا، فإن كل شيء خارج المنطقة يقع خارج أفقها الكوني وبالتالي يمكن تجاهله. إن الإنتروبيا الإجمالية الأدنى التي يعيِّنها سَسكيند ومعاونوه للتقلب تقلل بشكل كبير من احتمالية حدوثه.

23. في الملاحظة رقم 9 من الفصل الثاني، أوضحتُ أن إنتروبيا النظام يتم تعريفها بشكل

أنسب باعتبارها اللوغاريتم الطبيعي لعدد الحالات الكمية التي يمكن الوصول إليها. لذلك، إذا كان النظام يحتوي على إنتروبيا S، فإن عدد هذه الحالات هو e^S. وإذا افترضنا أن نظامًا ما يقضي زمنًا متساويًا تقريبًا في أي من الحالات المتناهية الصغر المتوافقة مع حالته العيانية، فإن احتمال P للتقلب من الحالة الأولية للإنتروبيا S1 إلى حالة الانتروبيا النهائية S2 يُعطى بنسبة عدد الحالات المتناهية الصغر المرتبطة بكل منهما، وبالتالي فإن: $P = e^{S2} / e^{S1} = e^{(S2 - S1)}$. وتحريًا للوضوح، اكتب $S2 = S1 - D$، حيث يشير D إلى «الانخفاض» في الإنتروبيا عن القيمة الأولية لـ S1. ثم $P = e^{(S1 - D - S1)} = e^{-D}$، حيث نرى الانخفاض الأسي في الاحتمالية كدالة للانخفاض في الإنتروبيا. ما هو إذًا احتمال تكوين دماغ بولتزمان؟ حسنًا، عند درجة الحرارة T، تمتلك الجُسَيْمات الموجودة في تيارنا الحراري طاقات مساوية جدًا لـ T (باستخدام وحدات $K_B = 1$)، وبالتالي لبناء دماغ كتلته M، نحتاج إلى سحب نحو M / T من هذه الجُسَيْمات (باستخدام وحدات $c = 1$). نظرًا إلى أن الإنتروبيا في التيار تتعقب عدد الجُسَيْمات، فإن الانخفاض D يساوي أساسًا M / T وبالتالي يكون الاحتمال نحو $e^{-M/T}$. للحصول على مثال وثيق الصلة، يمكننا أن نضع نصب أعيننا المستقبل البعيد جدًّا بحيث إن T يساوي درجة حرارة التيار الحراري الناشئ عن الأفق الكوني، نحو 10^{-30} درجة كلفينية، أي نحو 10^{-41} جيجا إلكترون فولت (حيث الجيجا إلكترون فولت تساوي تقريبًا الطاقة المكافئة لكتلة البروتون). نظرًا إلى أن الدماغ يحتوي على نحو 10^{27} بروتون، فإن M / T يساوي نحو $10^{68} = 10^{27} / 10^{-41}$. وبالتالي فإن احتمال تكوين الدماغ تلقائيًا يساوي تقريبًا $e^{-10^{68}}$. والوقت اللازم للحصول على فرصة معقولة لوقوع مثل هذا الحدث النادر يتناسب مع $1 / (e^{-10^{68}})$، أي $e^{10^{68}}$، وهو العدد الذي نقربه في هذا الفصل، على سبيل التيسير، إلى $10^{10^{68}}$.

24. على الرغم من أن الزمن قد يكون غير محدود، إلّا أن هناك نطاقًا زمنيًا طبيعيًا ملائمًا ولكنه متناهٍ يُعرَف باسم «زمن التكرار». أناقش هذا في الملاحظة رقم 34، لذا يكفي هنا أن نقول إن زمن التكرار طويل جدًا لدرجة أن عدد أدمغة بولتزمان التي ستظهر قبل أن نصل إلى هذا الحد كبير للغاية؛ حتى في ضوء معدل التكوين الضئيل.

25. سيدرك القارئ المجتهد أننا نستدعي ضمنيًا مبدأ الحياد الموصوف في الملاحظة رقم ثمانية من الفصل الثالث. ويعني هذا أنني عندما أفكر في أصل دماغي، فإنني أعطي احتمالية متساوية لكل تجسيد له نفس التكوين المادي. ونظرًا إلى أن كل هذه التجسيدات تقريبًا ستكون قد تشكلت وفق نهج بولتزمان، فمن المستبعد بقوة أن تكون القصة المعتادة التي أحكيها عن كيفية ظهور دماغي صحيحة. ومع ذلك، كما ذكرت في الملاحظة رقم ثمانية من الفصل الثالث، يمكن للمرء أن يجد صعوبة في استخدام مبدأ الحياد في المواقف التي لا تشبه تلك التي تم فيها التحقق من المبدأ تجريبيًا (قذف العملات، وإلقاء النرد، والتشكيلة الواسعة من مواقف الصدفة التي نواجهها في الحياة اليومية). ومع ذلك، فإن العديد من علماء الكونيات الرائدين غير راضين عن هذا النهج، وبالتالي يعتبرون ألغاز أدمغة بولتزمان التي وصفتها في الفصل مصدر قلق كبير.

26. انظر: David Albert, *Time and Chance* (Cambridge, MA: Harvard Uni-versity Press, 2000), 116; Brian Greene, *The Fabric of the Cosmos* (New York: Vintage, 2005), 168

27. اسمحوا لي أن أذكر نهجين آخرين لهما صلة بحل المشكلة. الأول هو أن نتخيل أنه بمرور

الزمن سوف تنجرف «ثوابت» الطبيعة بطريقة يتم فيها كبح العمليات الفيزيائية الضرورية لتكوين أدمغة بولتزمان. انظر على سبيل المثال Steven Carlip, «Transient Observers and Variable Constants, or Repelling the Invasion of the Boltzmann's Brains,» *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 06 (2007): 001. والثاني، كما نادى شون كارول وزملاؤه، هو أن التقلبات الضرورية لتكوين أدمغة بولتزمان لا تنشأ تحت معالجة ميكانيكية كمية دقيقة. (K. K. Boddy, S. M. Carroll, and J. Pollack, «De Sitter Space Without Dynamical Quantum Fluctuations,» *Foundations of Physics* 46, no. 6 [2016]: 702)

28. انظر، على سبيل المثال: A. Ceresole, G. Dall'Agata, A. Giryavets, et al., «Domain walls, near BPS bubbles, and probabilities in the landscape,» *Physical Review D* 74 (2006): 086010. اتخذ الفيزيائي دون بيدج نهجًا مختلفًا في صياغة مشكلة أدمغة بولتزمان، مشيرًا إلى أنه في أي حيز متناهٍ من الفضاء يمر بتمدّد متسارع، كما في حالتنا، سيكون هناك -على مدار زمن لا متناهٍ- عدد لا متناهٍ من الأدمغة التي خُلقَت تلقائيًا. ولتجنب أن تكون أدمغتنا نماذج غير تقليدية في هذا الحيز المتمدّد، يقترح بيدج أن منطقتنا ليس لديها وقت لا متناهٍ ولكنها تتجه بدلًا من ذلك نحو صورة مختلفة من الدمار. وتشير حساباته (Don N. Page, «Is our universe decaying at an astronomical rate?» *Physics Letters B* 669 [2008]: 197200) إلى أن أقصى عمر لكوننا قد يصل إلى عشرين مليار عام. واقترح عدد من الفيزيائيين الآخرين (انظر، على سبيل المثال: R. Bousso and B. Freivogel, «A Paradox in the Global Description of the Multi-verse,» *Journal of High Energy Physics* 6 [2007]: 018; A. Linde, «Sinks in the Landscape, Boltzmann Brains, and the Cosmological Constant Problem,» *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 0701 [2007]: 022; A. Vilenkin, «Predictions from Quantum Cosmology,» *Physical Review Letters* 74 [1995]: 846) طرقًا أخرى لتجنب مشكلة أدمغة بولتزمان باستخدام صياغات رياضية مختلفة لحساب احتمالية تشكّلها. باختصار، لا يزال هناك الكثير من الخلاف حول كيفية حساب احتمالية هذه الأنواع من العمليات، ولا شك أنها مصدر مثمر للجدل يدفع نحو إجراء المزيد من الأبحاث.

29. انظر: Kimberly K. Boddy and Sean M. Carroll, «Can the Higgs Boson Save Us from the Menace of the Boltzmann Brains?» 2013, arXiv:1308.468

30. على الأقل، هذه هي القصة كما روتها معادلات أينشتاين. إن تحديد ما إذا كان ذلك الانسحاق العظيم هو النهاية حقًا أم ما إذا كانت ستظهر بعض العمليات الغريبة في اللحظة الأخيرة سوف يتطلب معالجة كمية كاملة للجاذبية. والإجماع العام الحالي هو أن الانتقال إلى قيمة سالبة ينتج حالة نهائية؛ في هذا العالم، نهاية حقيقية للزمن.

31. انظر: Paul J. Steinhardt and Neil Turok, «The cyclic model simplified,» *New Astronomy Reviews* 49 (2005): 43-57; Anna Ijjas and Paul Steinhardt, «A New Kind of Cyclic Universe» (2019): arXiv:1904.0822 [gr-qc]

32. انظر: Alexander Friedmann, trans. Brian Doyle, «On the Curvature of

Space,»*Zeitschrift für Physik* 10 (1922): 377-386; Richard C. Tolman, «On the problem of the entropy of the universe as a whole,» *Physical Review* 37 (1931): 1639-60; Richard C. Tolman, «On the theoretical requirements for a periodic behavior of the universe,» *Physical Review* 38 (1931): 1758-71

33. ومع ذلك، فمن المرجح بدرجة أكبر ألّا تُحسَم القضية. والسبب هو أن النموذج التضخمي يمكنه أيضًا استيعاب الافتقار إلى موجات الجاذبية الأولية: إذ إن النماذج التي تقلّل من نطاق طاقة التضخّم ستنتج موجات أضعف من أن تُرصَد. قد ينادي بعض الباحثين بقوة بأن مثل هذه النماذج غير طبيعية وبالتالي فهي أقل إقناعًا من النموذج الدوري. لكن هذا حكم نوعي سيكون للباحثين المختلفين آراء مختلفة بشأنه. ومن المؤكد أن البيانات المحتملة التي أشرت إليها (أو، في واقع الأمر، الافتقار إليها) ستفتح نقاشًا حاميًا في مجتمع الفيزياء بين مؤيدي هاتين النظريتين لعلم الكونيات، لكن من غير المرجح أن يتم التخلي عن السيناريو التضخمي.

34. في حين أن من شأن هذا أن يأخذنا إلى موضع متقدّم داخل الفصل، فسأذكر هنا أن ثمة نسخة من علم الكونيات الدوري قد تنبثق من سيناريوات كونية أكثر قياسية أيضًا. وعلى الرغم من أن علم الكونيات هذا سيختلف اختلافًا كبيرًا عن النهج الدوري الموصوف للتو، فإنه يتضمّن حلقات متتابعة، ولكن ذات نطاقات زمنية أطول كثيرًا وتنشأ عبر آلية مختلفة تمامًا. اشتُقّت الفيزياء الأساسية في نهاية القرن التاسع عشر على يد عالم الرياضيات هنري بوانكاريه، وتسمى الآن نظرية *التكرار لبوانكاريه*. ومن أجل استيعاب فحوى النظرية، فكر في خلط مجموعة من أوراق اللعب. نظرًا لوجود عدد محدود وحسب من الترتيبات المختلفة للبطاقات (عدد ضخم، نعم، لكنه محدودة بالتأكيد)، إذا واصلت خلطها، يجب أن يتكرر ترتيب البطاقات عاجلًا أم آجلًا. أدرك بوانكاريه أنه إذا كان لديك، مثلًا، جزيئات من البخار تتلاطم بشكل عشوائي داخل وعاء، فمن المؤكد أيضًا حدوث نوع مماثل من التكرار. على سبيل المثال، تخيل أنني وضعت مجموعة متلاصقة من جزيئات البخار في أحد أركان الوعاء ثم تركتها كي تنتشر. سوف تملأ الوعاء بسرعة ولفترة طويلة للغاية ستحافظ على مظهر متجانس بينما تواصل التحرك عشوائيًا داخل المساحة المتاحة. ولكن إذا انتظرنا وقتًا طويلًا بما يكفي، فإن الجزيئات، بالصدفة، ستنتقل إلى تكوينات أكثر تنظيمًا وذات إنتروبيا أقل. ذهب بوانكاريه إلى أبعد من ذلك، وقال إن الجزيئات، من خلال حركاتها العشوائية، ستقترب بشكل اعتباطي من نفس التكوين الذي بدأت منه: مجموعة متلاصقة بإحكام في أحد أركان الوعاء. وهذا المنطق، على الرغم من كونه فنيًا متخصّصًا، مشابهًا للطريقة التي خلصنا بها إلى أن ترتيب مجموعة أوراق اللعب التي يعاد خلطها بلا نهاية يجب أن يتكرر. وأي قائمة لا حصر لها من مواقع الجُسَيْمات العشوائية والسرعات ستتكرّر بالضرورة أيضًا. الآن، قد تتشكّك في هذا الادعاء؛ فعلى أي حال، خلافًا لحالة البطاقات، هناك عدد لا نهائي من الترتيبات المختلفة لجزيئات البخار داخل الوعاء. لكن بوانكاريه تعامل مع هذا التعقيد من خلال القول بعدم وجود عملية إعادة إنشاء مطابقة للترتيب السابق، ولكن بدلًا من ذلك القول بوجود عملية إعادة إنشاء مقاربة بشكل اعتباطي له. وكلما كانت عملية إعادة الإنشاء أدق، طالت الفترة التي سيتعين عليك انتظارها كي تحدث، ولكن إذا اخترت أي فترة كافية، ستعيد الجُسَيْمات إنشاء

التكوين السابق بتلك المواصفات.

على الرغم من أن منطق بوانكاريه كان كلاسيكيًا، فقد امتدّت نظريته في خمسينيات القرن العشرين إلى ميكانيكا الكم. ووفقًا لهذا المنطق، إذا بدأت نظامًا مغلقًا يمكن فيه العثور على جُسَيْماته في مواقع معينة باحتمالات معينة، وسمحت له بالتطوّر لفترة طويلة بما يكفي، فستقترب الاحتمالات بشكل كبير من قيمها الأولية، وستتكرّر هذه الدورة إلى أجل غير مسمى. من السمات الجوهرية لحجة بوانكاريه، سواء أكانت كلاسيكية أم كمية، حقيقة أن البخار محصور في وعاء. وبخلاف ذلك، ستستمر الجزيئات في الانتشار إلى الخارج، ولن تعود أبدًا. ونظرًا إلى أن الكون ليس حاوية مغلقة، فقد تعتقد بأن نظريته ليس لها صلة بالكون. ومع ذلك، كما ناقشنا في الملاحظة رقم 22 من هذا الفصل، ذهب ليونارد سَسكيند إلى أن الأفق الكوني يعمل بالفعل مثل جدران الوعاء: إذ يقيّد الجزء من الكون الذي يمكننا التفاعل معه إلى حجم محدود، مما يجعل نظرية بوانكاريه قابلة للتطبيق. وهكذا، مثلما سيعود البخار الموجود في الوعاء، بعد فترات زمنية طويلة بشكل غير عادي، إلى ترتيب مقارب لأي تكوين بعينه، سينطبق هذا أيضًا على الظروف داخل أفقنا الكوني: وأي ترتيب معين للجُسَيْمات والمجالات، بأي دقة معينة، سيتحقّق مرارًا وتكرارًا. إنها نسخة حرفية من العودة الأبدية. واستنادًا إلى حجم الأفق الكوني لدينا، يمكننا حساب النطاق الزمني اللازم للتكرار، والنتيجة هي أطول مقياس زمني واجهناه حتى الآن؛ نحو $(10^{10})^{120}$ عام.

لا يسع المرء إلّا أن يفكر في مثل هذه التكرارات من منظورنا الأرضي. فالمائة مليار شخص الذين عاشوا وماتوا عبارة عن تكوينات من الجزيئات. وإذا تحقّقت هذه التكوينات مرة أخرى، حسنًا، كما ترون، فإن هذا الخط من التفكير يتجه نحو الأماكن التي يتجنبها العلم بكل ما أوتي من قوة. لكن قبل الانجراف في التفكير كثيرًا، لاحظ، كما رأينا، أن من الممكن أن تهدد انخفاضات الإنتروبيا العفوية أساس الفهم العقلاني نفسه. إذا أدت عملية إعادة تكوين عشوائية للجُسَيْمات والمجالات إلى نشوء تطور كوني جديد -انفجار عظيم جديد- ينتج عنه في النهاية نجوم وكواكب وأشخاص، فهذا أمر. لكن إذا اتضح أن هناك احتمالًا أكبر لإعادة إنشاء ظروف مثل تلك الموجودة في عالم اليوم بشكل عفوي -من دون انفجار عظيم أو تطور كوني- فسنجد أنفسنا في نفس المستنقع الذي واجهناه مع أدمغة بولتزمان. وحتى لو ظهر عالمنا بالطريقة الكونية التي وصفناها في الفصول السابقة، فبالنظر إلى المستقبل البعيد، سنخلص إلى أن الغالبية العظمى من الراصدين الذين سيشبهوننا (بعضهم ستكون لديه نفس الذكريات مثلنا وبالتالي يدعون أنهم نحن)، لن يظهروا نتيجة لهذا التسلسل الكوني. ومع ذلك سوف يعتقد كل واحد منهم أن هذا هو ما حدث. وكما هو الحال مع أدمغة بولتزمان، سنواجه مأزقًا معرفيًا. قد تقترح أن هذا لن يقوّض فهمنا للواقع؛ أن بإمكانك أنت وأنا وكل شيء مألوف أن يخرج من تطور كوني حقيقي. ومع ذلك، فإن ثمة فكرة مزعجة وهي أن كل شخص في المستقبل سيمكنه التمسك بنفس قصة المواسية، ومع ذلك سيكون معظمهم على خطأ. وبالنظر إلى أن الغالبية العظمى من الراصدين عبر الخط الزمني لن يظهروا نتيجة للتطور الكوني القياسي، سنحتاج إلى حجة مقنعة بأننا لسنا من بين المخدوعين. حاول الفيزيائيون صياغة هذه الحجة، ولكن حتى الآن لم تحظ مثل هذه الحجة بقبول واسع. وجزء من المشكلة هو أننا لم نفهم تمامًا حتى الآن اندماج ميكانيكا الكم والجاذبية،

وبالتالي فإن مخططاتنا الحسابية مؤقتة. وفي مواجهة هذا الموقف، اقترح بعض علماء الفيزياء، وأبرزهم سَسكيند، أن الثابت الكوني قد لا يكون ثابتًا حقًا. فعلى أي حال، إذا تلاشى الثابت الكوني في المستقبل البعيد، سينتهي عصر التمدّد المتسارع وسيختفي الأفق الكوني. وحينذاك، سيتم تحييد بوانكاريه وتكراراته. وما زلنا في انتظار المشاهدات التي ستوفّر، على نحو يدعو إلى التفاؤل، نظرة ثاقبة لهذا المستقبل المحتمل.

35. نظرًا إلى أن التمدّد التضخمي يبدأ بمنطقة صغيرة من الفضاء تتضخم بسرعة تحت تأثير قوة الجاذبية الطاردة، فقد تعتقد أن العالم الناتج سيكون بالضرورة ذا حجم محدود. فعلى أي حال، مهما قمنا بإطالة شيء ما فسيظل محدودًا. لكن الواقع أكثر تعقيدًا. وفي الصيغة القياسية للتضخم، ينتج عن اختلاط المكان والزمن وجود راصدين داخل منطقة متضخمة من الفضاء يقيمون في مساحة لا *نهائية*. أشرح ذلك بشيء من التفصيل في الفصل الثاني من كتاب «الواقع الخفي»، والذي أحيل إليه القارئ المهتم للحصول على شرح أوفى. لاحظ أيضًا أن علم الكونيات التضخمي يمكن أن ينتج عنه كون متعدد متمايز ولكنْ مترابط: والسمة المشتركة للعديد من السيناريوات التضخمية هي أن التمدد التضخمي ليس حدثًا يقع لمرة واحدة. بدلًا من ذلك، من الممكن أن تؤدي دفعات متمايزة من التمدد التضخمي إلى العديد من الأكوان المتمدّدة –عددها غير محدود عمومًا– بحيث يكون كوننا واحدًا من بين مجموعة واسعة. تُعرف مجموعة هذه الأكوان باسم الأكوان المتعدّدة التضخمية وتنشأ مما يُعرف باسم التضخم الأبدي. تنطبق جوانب وصف الأكوان المتعدّدة التي أوردها في هذا الفصل أيضًا على الكون المتعدد التضخمي. لمزيد من التفاصيل، انظر الفصل الثالث من كتاب «الواقع الخفي».

36. لتجنب التفاعلات عند حدودها، يمكنك إحاطة كل منطقة بمساحة عازلة كبيرة بما يكفي، مما يضمن عدم اتصال أي منطقة بأي منطقة أخرى.

37. انظر: Jaume Garriga and Alexander Vilenkin, «Many Worlds in One,» *Physical Review D* 64, no. 4 (2001): 043511. See also J. Garriga, V. F. Mukhanov, K. D. Olum, and A. Vilenkin, «Eternal Inflation, Black Holes, and the Future of Civilizations,» *International Journal of Theo-retical Physics* 39, no. 7 (2000): 1887-1900, as well as the general-level book, Alex Vilenkin, *Many Worlds in One* (New York: Hill and Wang, 2006)

الفصل الحادي عشر: نُبل الكينونة

1. نوقش دور التطور في تشكيل الأخلاق في E. O. Wilson, *Sociobiology: The New Synthesis* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1975)، وهو ما دشن نموذجًا جديدًا لتحليل السلوك البشري بشكل عام والأخلاق البشرية بشكل خاص. للاطلاع على أحد المقترحات التفصيلية التي تحدّد المراحل المحتملة في تطور الأخلاق البشرية، انظر: P. Kitcher, «Biology and Ethics,»in *The Oxford Handbook of Ethical Theory* (Oxford: Oxford University Press, 2006), 163-85, and P. Kitcher, «Between Fragile Altruism and Morality: Evolution and the Emergence of Normative Guidance,» *Evolutionary Ethics and*

Contemporary Biology (2006): 159-77

2. انظر: T. Nagel, *Mortal Questions* (Cambridge: Cambridge University Press, 1979), 142-46

3. انظر، على سبيل المثال: J. Haidt, «The Emotional Dog and Its Rational Tail: A Social Intuitionist Approach to Moral Judgment,» *Psychological Review* 108, no. 4 (2001): 814-34, and Jonathan Haidt, *The Righteous Mind: Why Good People Are Divided by Politics and Religion* (New York: Pantheon Books, 2012)

4. انظر: Jorge Luis Borges, «The Immortal,» in *Labyrinths: Selected Stories and Other Writings* (New York: New Directions Paperbook, 2017), 115. Other books referenced in this paragraph are Jonathan Swift, *Gulliver's Travels* (New York: W. W. Norton, 1997); Karel Čapek, *The Makropulos Case*, in *Four Plays: R. U. R.; The Insect Play; The Makropulos Case; The White Plague* (London: Bloomsbury, 2014)

5. انظر: Bernard Williams, *Problems of the Self* (Cambridge: Cambridge Univer-sity Press, 1973)

6. انظر: Aaron Smuts, «Immortality and Significance,» *Philosophy and Literature* 35, no. 1 (2011): 13449

7. انظر: Samuel Scheffler, *Death and the Afterlife* (New York: Oxford University Press, 2016), 5960

8. كتبت وولف: «إن ثقتنا في استمرار الجنس البشري تلعب دورًا هائلًا، وإن كان ضمنيًا في الغالب، في الطريقة التي نتصور بها أنشطتنا ونفهم قيمتها». Samuel Scheffler, «The Significance of Doomsday,» *Death and the Afterlife* (New York: Oxford University Press, 2016), 113

9. انظر: Harry Frankfurt, «How the Afterlife Matters,» in Samuel Scheffler, *Death and the Afterlife* (New York: Oxford University Press, 2016), 136

10. ربما ينظر أتباع نظرية العوالم المتعدّدة في ميكانيكا الكم إلى هذا الوصف في ضوء مختلف. فإذا وقعت جميع النتائج المحتملة في عالم أو آخر، فإن هذا العالم كان مُقدرًا بصورة مسبقة. لكن حقيقة أن المجموعات الواعية بذاتها تعد من بين النتائج المحتملة ليست أقل استثنائية.

عن المؤلف

براين جرين، أستاذ الفيزياء والرياضيات في جامعة كولومبيا، ويشتهر بعدد من الاكتشافات الرائدة في نظرية الأوتار. وهو مؤلف كتاب «الكون الأنيق» (*The Elegant Universe*) و«نسيج الكون» (*The Fabric of the Cosmos*) و«الواقع الخفي» (*The Hidden Reality*)، وجميعها من أكثر الكتب مبيعًا حسب قوائم نيويورك تايمز. قام جرين بتقديم مسلسلين وثائقيين قصيرين، مقتبسين من كتبه، في سلسلة «نوفا» الوثائقية الحائزة على جوائز، وهو أيضًا أحد مؤسسي مهرجان العلوم العالمي. ويعيش جرين مع زوجته وأبنائه في الأنديز، وولاية نيويورك، ومدينة نيويورك.



«أريد أن أكون جزءًا من رحلة نحو رؤى شديدة الجوهرية، إلى درجة أنها لن تتغير مطلقًا. فلتنهض الحكومات وتسقط، ولتفُز فرقٌ بنهائي المباريات وتخسر فرق أخرى، ولتظهر أساطير السينما والتلفاز والمسرح وتختفي. فما أردته هو قضاء حياتي محاولًا رؤية لمحة من شيء يسمو فوق الوجود المادي».

في هذا الكتاب الأخّاذ يستكشف برايان جرين الكون، ويتناول كل ما يشغلنا حول الاكتشافات الجديدة عنه، وسعينا الدائم للبحث عن معنى ونحن نتأمّل هذا التوسع العظيم.

انطلاقًا من أسئلة الوجود الكبرى، يأخذنا جرين في رحلة المعرفة والعلم والاكتشافات المذهلة، رحلة تمتدّ من الانفجار الكبير حتى نهاية الزمان.

***

كتّاب قليلون يشاركون برايان جرين قدراته الفذّة على الإحاطة بجديد العلوم الكونية والتمكن من السرد الأدبي الرفيع في آن.

The New York Times

هناك بهجة هائلة في متابعة عقل لامع وصاحب فضول ومتعطش للمعرفة في اشتباكه مع القضايا العميقة، برايان جرين يأخذ قرّاءه في رحلة لا تنسى.

Book List

كتابٌ مذهلٌ... يقدم تاريخًا متبصرًا لكل شيء ويبسّط تعقيد موضوعه.

Kirkus



